



**TUGAS AKHIR - RG 141536**

# **ANALISA HASIL PENGUKURAN KOORDINAT TERRESTRIAL LASER SCANNER GLS - 2000**

**ALIF FARIQ'AN SETIAWAN**  
NRP 03311340000098

Dosen Pembimbing  
Agung Budi Cahyono, S.T., M.Sc., DEA.

DEPARTEMEN TEKNIK GEOMATIKA  
Fakultas Teknik Sipil Lingkungan dan Kebumihan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2018

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*



TUGAS AKHIR – RG 141536

# ANALISA HASIL PENGUKURAN KOORDINAT TERRESTRIAL LASER SCANNER GLS - 2000

ALIF FARIQ'AN SETIAWAN  
NRP 03311340000098

Dosen Pembimbing  
Agung Budi Cahyono, S.T., M.Sc., DEA.

DEPARTEMEN TEKNIK GEOMATIKA  
Fakultas Teknik Sipil Lingkungan dan Kebumian  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2018

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*



FINAL ASSIGNMENT – RG 141536

# ANALYSIS OF THE COORDINATE MEASUREMENT USING TERRESTRIAL LASER SCANNER GLS 2000

ALIF FARIQ'AN SETIAWAN  
NRP 03311340000098

Supervisor  
Agung Budi Cahyono, S.T., M.Sc., DEA.

Geomatics Engineering Department  
Faculty of Civil Engineering Environment and Geo Engineering  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2018

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## ANALISA HASIL PENGUKURAN KOORDINAT TERRESTRIAL LASER SCANNER GLS – 2000

Nama Mahasiswa : Alif Fariq'an Setiawan  
NRP : 03311340000098  
Jurusan : Teknik Geomatika FTSLK – ITS  
Pembimbing : Agung Budi Cahyono, ST, MSc, DEA

### ABSTRAK

TLS (*Terrestrial Laser Scanner*) merupakan salah satu alat yang digunakan untuk mengakuisisi data dengan cara memindai permukaan obyek, yang dapat diaplikasikan pada pemodelan 3D, perhitungan volume dan pengukuran terestris. Dalam penelitian ini dilakukan analisa data pengukuran koordinat TLS dengan ETS (*Electronic Total Station*). Pada proses pelaksanaannya, penelitian ini dilakukan pada dua ruangan yang memiliki ukuran dan dimensi yang berbeda, yaitu Ruang I dan Ruang II. Akuisisi data ETS dilakukan dengan melakukan proses pengukuran koordinat pada target yang telah tersebar didalam ruangan. Sedangkan untuk akuisisi data TLS dilakukan dengan melakukan pemindaian pada setiap ruangan yang telah tersebar targetnya. Selisih nilai koordinat dari data TLS dengan ETS dianggap sebagai nilai kesalahan sistematis.

Dari hasil penelitian menunjukkan bahwa untuk Ruang I memiliki nilai RMS *error* koordinat X sebesar 0,004 m, koordinat Y sebesar 0,005 dan untuk koordinat Z sebesar 0,011 m. Sedangkan untuk Ruang II memiliki nilai RMS *error* koordinat X sebesar 0,003 m, koordinat Y sebesar 0,004 dan untuk koordinat Z sebesar 0,005 m. Hal ini menunjukkan bahwa pengukuran TLS di kedua ruangan pada posisi planimetris sedikit terpengaruh oleh ukuran dan dimensi, yang mengakibatkan selisih sebesar 1 mm. Sedangkan pada posisi elevasi memiliki pengaruh yang cukup signifikan yang menghasilkan selisih sebesar 6 mm.

***Kata Kunci***—*Kesalahan Sistematis, Terrestrial Laser Scanner, Electronic Total Station.*



## ANALYSIS OF THE COORDINATE MEASUREMENT USING TERRESTRIAL LASER SCANNER GLS - 2000

Name : Alif Fariq'an Setiawan  
NRP : 03311340000098  
Departement : Geomatics Engineering, FTSLK – ITS  
Supervisor : Agung Budi Cahyono , ST, MSc, DEA

### **ABSTRACT**

*TLS (Terrestrial Laser Scanner) is one of tools that used to acquire data by scanning the surface of the object, which can be applied to 3D modeling, volume calculation, terrestrial measurement and many more. This study will be analyzed data of TLS coordinate measurement, using data from ETS (Electronic Total Station). This study was conducted on two rooms that have different sizes and dimensions, namely Room I (room 104 of Geomatics Engineering of ITS) and Room II (Office room of PT ASABA Surveiing). ETS data is taken by coordinate measurement process on the target that has been spread in the room. While TLS data is taken by doing a scan on that room. The difference coordinate values between TLS and ETS is considered a sistematic value.*

*The result of this study indicate that for Room I have RMS error coordinate equal to coordinate X equal to 0.004 m, coordinate Y equal to 0.005 m and for coordinate Z equal to 0.011 m. While for Room II has RMS error coordinate value equal to coordinate X of 0.003 m, coordinate Y of 0.004 m and for coordinates Z of 0.005 m. This indicates that TLS measurements in both rooms in the planymetric position are slightly affected by size and dimensions, resulting in a difference of 1 mm. While the elevation position has a significant influence that produces a difference of 6 mm.*

***Keyword***—*Sistematic Error, Terrestrial Laser Scanner, Electronic Total Station.*

## LEMBAR PENGESAHAN

### ANALISA HASIL PENGUKURAN KOORDINAT TERRESTRIAL LASER SCANNER GLS – 2000

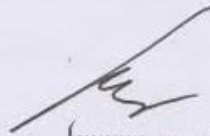
#### TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
Pada  
Departemen S-1 Teknik Geomatika  
Fakultas Teknik Sipil Lingkungan dan Kebumihan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :  
**ALIF FARIQ'AN SETIAWAN**  
**NRP. 03311340000098**

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir:

Agung Budi Cahyono, ST, MSc, DEA,  
NIP. 19690520 199903 1 002

  
(.....)

**SURABAYA, Januari 2018**



*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## KATA PENGANTAR

Puji dan syukur saya sampaikan kehadirat Allah SWT atas segala limpahan rahmat, taufiq dan hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian untuk tugas akhirnya yang berjudul **“Analisa Hasil Pengukuran Koordinat Terrestrial Laser Scanner GLS 2000”** dengan lancar.

Selama pelaksanaan penelitian untuk tugas akhir penulis ini, banyak pihak yang telah memberikan bantuan dan dukungan kepada penulis. Untuk itu, penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Allah SWT karena atas ridho dan karunianya sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian ini.
2. Kedua orang tua dan keluarga penulis serta Islammiyatiningsih yang selalu memberikan doa dan dukungannya untuk kelancaran penelitian ini.
3. Bapak Mokhamad Nur Cahyadi, ST., M.Sc., Ph.D., selaku Ketua Jurusan Teknik Geomatika ITS.
4. Bapak Agung Budi Cahyono, ST, MSc, DEA.selaku dosen pembimbing penulis dan dosen wali penulis. Terima kasih atas kesempatan, kesabaran serta dukungan dalam bimbingan hingga dapat terselesaikannya tugas akhir ini.
5. Teman-teman yang membantu proses pengukuran untuk pengambilan data penelitian (Aryan, Nizar, Cenna, Widi, Rega H, Ghilman) dan juga teman teman angkatan 2013 Teknik Geomatika ITS atas dukungan dan semangat yang telah diberikan.
6. Pihak-pihak yang tidak bisa disebutkan satu persatu, yang telah membantu penulis.

Kritik dan saran yang membangun sangat diharapkan oleh penulis untuk penyempurnaan penelitian ini. Semoga laporan ini dapat bermanfaat untuk semua pihak, khususnya untuk mahasiswa Jurusan Teknik Geomatika Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Surabaya, Januari 2018

Penulis

## DAFTAR ISI

LAMAN JUDUL.....	ii
LAMAN JUDUL.....	v
ABSTRAK .....	vii
<i>ABSTRACT</i> .....	ix
LEMBAR PENGESAHAN.....	xi
KATA PENGANTAR.....	xiii
DAFTAR ISI .....	xv
DAFTAR GAMBAR .....	xvii
DAFTAR TABEL .....	xix
DAFTAR LAMPIRAN .....	xxi
BAB I .....	1
PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang Masalah.....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	3
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Tujuan Tugas Akhir.....	3
1.5 Manfaat Penelitian.....	3
BAB I .....	5
LANDASAN TEORI .....	5
2.1 Terrestrial Laser Scanner.....	5
2.2 Sinar Laser pada TLS.....	6
2.3 Prinsip Pengukuran TLS .....	8
2.4 Teknik Registrasi Data .....	12
2.5 Georeferensi .....	16
2.6 Aplikasi TLS .....	18
2.7 Sumber-Sumber Kesalahan pada Pengukuran TLS .....	18
2.8 Pengukuran Terestris.....	26
2.9 Poligon .....	26
2.10 Toleransi Pengukuran.....	27
2.11 Pengukuran Detail .....	28
2.12 Metode Tachimetri .....	28
2.13 Uji Statistik.....	29
2.14 Penelitian Terdahulu.....	31

BAB III.....	35
METODOLOGI PENELITIAN .....	35
3.1 Lokasi Penelitian .....	35
3.2 Data dan Peralatan .....	37
3.3 Metodologi Penelitian .....	44
BAB IV.....	51
HASIL DAN ANALISA .....	51
4.1 Hasil Pengukuran Titik Kontrol .....	51
4.2 Hasil Pengukuran Koordinat TLS .....	54
4.3 Hasil Pengukuran Koordinat ETS .....	59
4.4 Hasil Perbandingan Koordinat.....	61
4.5 Analisa Statistik.....	64
4.6 Analisa Penyebab Perbedaan.....	73
BAB V .....	75
KESIMPULAN .....	75
5.1 Kesimpulan.....	75
5.2 Saran.....	75
DAFTAR PUSTAKA.....	77
LAMPIRAN .....	81
PROFIL PENULIS .....	91



## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1, Definisi <i>beam waist</i> dan <i>beam divergence</i> .....	7
Gambar 2.2, <i>Laser Beam Expander</i> .....	7
Gambar 2.3, Ilustrasi <i>beam divergence</i> ).....	8
Gambar 2.4, <i>Point clouds</i> beserta objeknya .....	9
Gambar 2.5, Mekanisme pengukuran TLS berbasis pulsa ..	11
Gambar 2.6, Prinsip pengukuran TLS .....	12
Gambar 2.7, Sistem koordinat laser scanner.....	13
Gambar 2.8, Registrasi dua <i>point clouds</i> hasil pemindaian .	15
Gambar 2.9, Georeferensi secara langsung .....	17
Gambar 2.10, Georeferencing tidak langsung .....	18
Gambar 2.11, Jalan waktu .....	21
Gambar 2.12, Perubahan temperatur dalam alat menurut waktu) .....	22
Gambar 2.13, Ilustrasi <i>mixed pixels</i> .....	23
Gambar 2.14 Dasar Tachimetri (Basuki 2006) .....	29
Gambar 3.1, Ruang Kelas 104 .....	35
Gambar 3.2, Ruang Kantor ASABA .....	35
Gambar 3.3, Dimensi Ruang I .....	36
Gambar 3.4, Dimensi Ruang II.....	36
Gambar 3.5, TLS Topcon GLS 2000.....	37
Gambar 3.6, ETS Hi Target ZTS 320 R .....	38
Gambar 3.7, Target Ruang I (kiri) & Target Ruang II (kanan) .....	38
Gambar 3.8, Diagram Alir Tahapan Penelitian .....	44
Gambar 3.9, Lanjutan Diagram Alir Tahapan Penelitian ....	45
Gambar 4.1, Sketsa Titik Kontrol Ruang I .....	52
Gambar 4.2, Sketsa Titik Kontrol Ruang II.....	53
Gambar 4.3, Hasil Scan Ruang I (Tampak Luar) .....	54
Gambar 4.4, Hasil Scan Ruang I (Tampak Dalam) .....	54
Gambar 4.5, Hasil Scan Ruang II (Tampak Luar) .....	55
Gambar 4.6, Hasil Scan Ruang II (Tampak Dalam) .....	55
Gambar 4.7, Target yang terpindai .....	57
Gambar 4.8, Grafik Selisih Koordinat Ruang I .....	63
Gambar 4.9. Grafik Selisih Koordinat Ruang II .....	64

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## DAFTAR TABEL

Tabel 3.1, Spesifikasi TLS Topcon GLS 2000.....	39
Tabel 3.2, Spesifikasi Hi-Target ZTS 320R .....	41
Tabel 4.1, Koordinat Titik Kontrol Ruang I.....	51
Tabel 4.2, Koordinat Titik Kontrol Ruang II.....	53
Tabel 4.3, Nilai RMS Registrasi Ruang I.....	56
Tabel 4.4, Nilai RMS Registrasi Ruang II.....	56
Tabel 4.5, Koordinat Target TLS di Ruang I.....	57
Tabel 4.6, Koordinat Target TLS di Ruang II .....	58
Tabel 4.7, Koordinat Target ETS di Ruang I.....	59
Tabel 4.8, Koordinat Target ETS di Ruang II .....	61
Tabel 4.9, Perbedaan Koordinat Target Ruang I .....	61
Tabel 4.10, Perbedaan Koordinat Target Ruang II.....	63
Tabel 4.11, Tabel Uji t <i>Student</i> Koordinat X.....	65
Tabel 4.12, Tabel Uji t <i>Student</i> Koordinat Y .....	66
Tabel 4.13, Tabel Uji t <i>Student</i> Koordinat Z .....	68
Tabel 4.14, Tabel Uji t <i>Student</i> Koordinat X.....	71
Tabel 4.15, Tabel Uji t <i>Student</i> Koordinat Y.....	71
Tabel 4.16, Tabel Uji t <i>Student</i> Koordinat Z .....	72

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1.Dokumentasi. ....	80
Lampiran 2.Hasil <i>Scanning</i> Ruang I.....	81
Lampiran 3.Hasil <i>Scanning</i> Ruang II. ....	85
Lampiran 4. Vektor Residual Koordinat.....	88

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang Masalah**

Perkembangan pemetaan 3 dimensi lambat laun mulai berkembang dari analog menjadi bentuk digital. Pemodelan 3D ini digunakan untuk memodelkan bangunan atau suatu wilayah sehingga terbentuk sebuah peta 3D. Kemunculan *Terrestrial Laser Scanner* (TLS) sangat menunjang perkembangan alat ukur dalam permodelan 3 dimensi ini. Pada perkembangannya alat ini hanya dapat melakukan pengukuran jarak dekat yang dimanfaatkan oleh bidang industri dan otomotif untuk mempermudah menghasilkan produknya secara massal. Kemudian alat ini terus berkembang dan mampu melakukan pengukuran jarak menengah dan jarak jauh. Karena banyaknya keuntungan dalam menggunakan teknologi ini seperti pengukuran non kontak, akurasi tinggi dan akuisisi data yang cepat dan lainnya sehingga membuat banyak bidang termasuk kebumihan banyak menggunakan teknologi canggih ini.

Aplikasi teknik survei dengan menggunakan TLS semakin meluas pada kalangan surveyor dan ahli ilmu kebumihan terutama pada tahun-tahun terakhir ini, karena TLS ini mampu mengambil banyak data titik yang sangat rapat dan akurat dalam waktu yang cepat serta teknik yang bisa dikatakan mudah dan praktis. TLS merupakan alat pencitraan aktif menggunakan teknologi laser yang dapat dengan cepat mendapatkan satu set titik 3D (*point clouds*) dari suatu permukaan atau objek dalam satu kali pengamatan, berbeda dengan ETS yang hanya mendapatkan satu titik dalam satu kali pengamatan. Data koordinat 3D TLS tersebut diperoleh dari data sudut dari *backsight* ke titik objek dan data jarak yang dihitung dari waktu tempuh laser dan cepat rambat laser. Hasil dari permodelan 3D ini telah banyak diterapkan diberbagai aplikasi dalam bidang rekayasa, untuk pengadaan data *as-built* dan pemodelan

dalam aplikasi transportasi, termasuk pengukuran tanah, studi arkeologi, arsitektur, struktur jembatan, dan survei jalan raya, dan bahkan untuk analisis tempat kejadian perkara (TKP) (Hiremagalur dkk. 2009).

Namun suatu alat ukur pasti mempunyai kesalahan-kesalahan. Salah satunya dari dalam alat itu sendiri yang dapat mempengaruhi hasil pengukuran atau menjadikan hasil atau data pengukuran menjadi salah. (Ingensand, Ryf dan Schulz 2003). Untuk memvalidasi keakuratan titik dari *point clouds* dari TLS dapat dibandingkan dengan teknologi yang lainnya yaitu *total station*. Memanfaatkan *total station* untuk mengukur kumpulan titik memungkinkan untuk dilakukan. Namun hal ini bukanlah metode yang praktis karena akan membutuhkan tenaga kerja dan alat yang lebih banyak dalam pengukuran. Namun hal ini penting untuk memahami seperti apa akurasi antara *total station* dan TLS ketika data *total station* dijadikan data acuan (Liscio, Hayden dan Moody J 2015).

Pada penelitian sebelumnya yang berjudul Mekanisme Kalibrasi TLS, kesalahan data TLS terhadap ETS disebabkan oleh beberapa hal. Pertama perbedaan jenis dan kelas *rangefinder* yang digunakan pada penelitian tersebut, kedua perbedaan dalam jumlah pengukuran kedua alat yang berbeda. Karena hal itu dibutuhkan penelitian lanjutan mengenai penerapan pengaruh besarnya kesalahan TLS terhadap data ukuran ETS (Aditiaputra 2013). Dalam penelitian ini, penulis membahas mengenai suatu analisa hasil pengukuran koordinat *point clouds* pada alat ukur TLS kemudian membandingkannya dengan data koordinat (X,Y,Z) yang didapat dari ETS *Reflektorless*. Harapan penulis pada penelitian ini dapat diketahui nilai perbedaan koordinat yang dihasilkan TLS terhadap koordinat ETS lebih besar nilainya dari yang dihasilkan pada penelitian sebelumnya.



## **1.2 Perumusan Masalah**

Perumusan masalah dalam penelitian ini adalah bagaimana hasil analisa ukuran koordinat *point clouds* dari alat ukur TLS dengan cara membandingkannya dengan data koordinat X,Y,Z dari pengukuran menggunakan ETS *Reflektorless* yang hasilnya nanti digunakan sebagai data acuan.

## **1.3 Batasan Masalah**

Adapun batasan masalah yang akan dibahas dalam penelitian ini yaitu:

1. Sumber kesalahan pada penelitian ini diasumsikan hanya berasal dari kesalahan pada instrument didalam ruangan dan tidak mempengaruhi faktor alam serta manusia.
2. Data koordinat didapat dari dua ruangan yang memiliki ukuran berbeda, yaitu :
  - a. Ruang kelas 104, Jurusan Teknik Geomatika ITS Surabaya;
  - b. Ruang Kantor PT. Asaba Surveiing.
3. Instrument yang digunakan adalah TLS Topcon GLS-2000M dan ETS *Reflektorless* GTS-220 series.

## **1.4 Tujuan Tugas Akhir**

Adapun tujuan dalam penelitian ini yaitu:

1. Menghitung hasil pengukuran koordinat TLS terhadap ETS ;
2. Menganalisa perbedaan hasil perhitungan koordinat dari dua alat tersebut berdasarkan ruangan yang digunakan;
3. Menganalisa penyebab perbedaan hasil perhitungan koordinat dari dua alat tersebut.

## **1.5 Manfaat Penelitian**

Manfaat dari penelitian ini adalah

1. mengetahui seberapa besarnya perbedaan koordinat TLS terhadap koordinat ETS dalam melakukan pengukuran koordinat suatu obyek didalam ruangan sehingga dapat digunakan untuk mengoreksi data koordinat yang dihasilkan TLS.
2. Menjadi referensi untuk menentukan apakah jika menggunakan alat TLS ini sesuai dengan ketelitian yang didapatkan mampu memenuhi suatu proses pengukuran terutama pada pengukuran dalam ruangan.

## **BAB I**

### **LANDASAN TEORI**

#### **2.1 Terrestrial Laser Scanner**

*Terrestrial Laser Scanner* (TLS) merupakan suatu alat pencitraan aktif menggunakan laser yang dapat dengan cepat mendapatkan satu set titik (*point clouds*) dari suatu permukaan objek yang berada dipermukaan tanah dalam satu kali pengukuran. *Point clouds* adalah sekumpulan titik data yang diberberapa koordinat dan membentuk suatu objek tertentu. Dalam sistem koordinat tiga dimensi, titik-titik ini biasanya ditentukan oleh koordinat X, Y, dan Z. Koordinat ini sering dimaksudkan untuk mewakili permukaan luar objek (Quintero 2008).

*Point clouds* dihasilkan dari proses perangkat scanner 3D. Perangkat tersebut mengukur sejumlah besar titik pada permukaan objek, menghasilkan *point clouds* sebagai file data. Biasanya *point clouds* tidak langsung dapat digunakan di sebagian besar aplikasi 3D, oleh karena itu biasanya dikonversi ke model 3D melalui suatu proses.

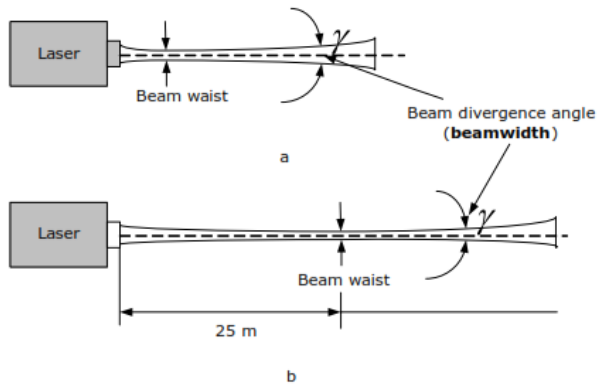
*Point clouds* yang didapatkan dalam suatu pengukuran menggunakan TLS mempunyai koordinat tiga dimensi terhadap tempat berdiri alat (*station*). Biasanya *point clouds* digunakan sebagai bahan pembuatan suatu model. Pengolahan data *laser scanner* sering bertujuan baik untuk menghapus pengukuran yang tidak diinginkan dalam suatu pengukuran, atau untuk membuat suatu data pemodelan. Pada pengukuran yang tidak diinginkan, seperti dalam kasus klasifikasi tutupan lahan, dalam konteks ini disebut sebagai *filtering image*. Metode untuk *filtering*, klasifikasi dan pemodelan dengan demikian didefinisikan menurut tujuan, bukan metode. Sebagian besar aplikasi memerlukan algoritma khusus dan strategi untuk klasifikasi dan interpretasi. Pengembangan aplikasi algoritma bergantung pada objek klasifikasi dan pemodelan.

TLS memiliki beberapa keunggulan bila dibandingkan dengan teknik survei tradisional lainnya (Reshetyuk 2009) seperti tachimetri, GPS dan fotogrametri yaitu :

1. Menangkap geometri suatu objek dalam 3D secara langsung, cepat dan detil;
2. Dapat memangkas biaya dan menyelesaikan pekerjaan jauh lebih cepat;
3. Dapat digunakan pada daerah survei atau objek yang sulit dijangkau dan berbahaya dimana teknik survei tradisional sangat sulit dilakukan;
4. Tidak memerlukan cahaya untuk dapat mengakuisisi data;
5. Pemindaian secara lengkap dan komprehensif
6. Data dapat digunakan untuk saat ini dan saat mendatang

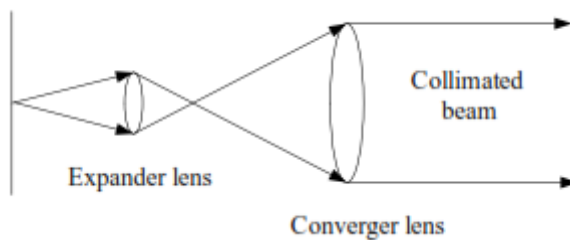
## **2.2 Sinar Laser pada TLS**

TLS menggunakan sinar laser yang dipancarkannya untuk mendapatkan *point clouds* dari permukaan suatu obyek. Sinar laser yang dipancarkannya akan menyebar dan menjauh dari alat. Tepatnya sinar yang dipancarkan akan membentuk diameter minimum yang disebut *beam waist* yang biasanya terletak didekat laser, namun tidak selalu berada didekat laser seperti gambar 2.1. *Beam waist* ini memiliki diameter pancaran sinyal yang berbanding terbalik dengan *beam divergence*, *beam waist* menghasilkan diameter yang kecil sedangkan *beam divergence* lebih besar.



Gambar 2.1, Definisi *beam waist* dan *beam divergence* (Reshetyuk 2009)

*Beam divergence* pada umumnya akan meningkat diameternya pada saat melalui *beam expander*, yaitu susunan lensa khusus. Lensa ini pada dasarnya adalah teleskop terbalik yang terdiri dari lensa yang panjang fokusnya pendek (*expander lens*) kemudian diikuti lensa yang panjang fokusnya panjang (*converger lens*). (Reshetyuk 2009).



Gambar 2.2, *Laser Beam Expander* (Reshetyuk 2009)

Diameter dari sinar laser yang dihasilkan yang melakukan pemindaian pada permukaan obyek dapat diketahui dengan persamaan berikut ini (Baltsavias 1999):

$$D_f = 2R \tan\left(\frac{\gamma}{2}\right) \approx R\gamma \dots \dots \dots (2.1)$$

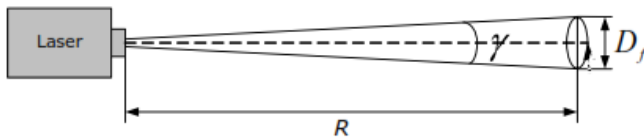
Dimana :

$D_f$  = Diameter

$R$  = Jarak

$\gamma$  = Sudut *beam divergence* (*beamwidth*)

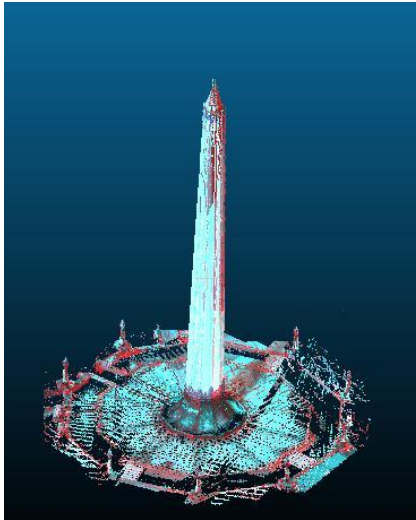
Pada TLS, *beam divergence* ( $\gamma$ ) pada umumnya memiliki nilai dibawah 1 mrad (0,001 rad) meskipun beberapa *scanner* memiliki *beam divergence* yang berbeda (Reshetyuk 2009).



Gambar 2.3, Ilustrasi *beam divergence* (Reshetyuk 2009)

### **2.3 Prinsip Pengukuran TLS**

Hasil dari suatu pengukuran dengan menggunakan TLS adalah berupa titik-titik *point clouds* yang memiliki koordinat 3D. *Point clouds* merupakan struktur data yang digunakan untuk mempresentasikan kumpulan titik multi-dimensial yang biasanya mempresentasikan data 3 dimensi. Dalam 3D *point clouds*, suatu titik biasanya merepresentasikan koordinat geometri X,Y dan Z pada permukaan objek. Ketika titik tersebut memberikan informasi warna atau intensitas, titik menjadi 4D.



Gambar 2.4, *Point clouds* beserta objeknya (Rachmawan 2016)

Sistem pengukuran laser scanner dari beberapa tempat berdiri alat biasanya menggunakan metode *multiple scan* atau melakukan *scanning* berkali-kali pada posisi yang berbeda-beda. Banyaknya *scanning* yang dilakukan tergantung pada kebutuhan ketelitian detail objek yang diinginkan, semakin banyak *scanning* yang dilakukan pada suatu objek akan semakin banyak detail yang dihasilkan dan semakin teliti model objek yang terbentuk. Untuk mendapatkan koordinat *point clouds*, TLS mempunyai suatu sistem pengukuran yang terdapat didalamnya, yaitu sistem pengukuran jarak dan sistem pengukuran sudut.

#### 1. Sistem Pengukuran Jarak

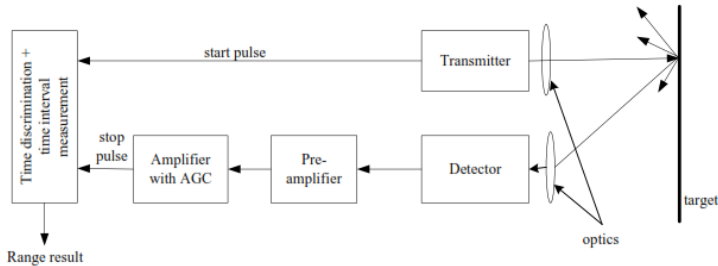
TLS merupakan suatu alat ukur yang menggunakan gelombang elektromagnetik laser untuk melakukan pengukuran jarak. Dalam prakteknya, TLS dibagi menjadi dua berdasarkan tipe pengukuran jaraknya, yaitu *pulse based* dan *phase based*. Prinsip pengukuran TLS berbasis pulsa yaitu berdasarkan waktu tempuh gelombang laser ketika dipancarkan hingga diterima kembali oleh penerima pulsa

laser yang dipancarkan hingga diterima kembali oleh penerima pulsa laser yang dipancarkan tersebut. Laser *rangefinder* merupakan suatu komponen TLS yang paling berperan dalam melakukan pengukuran jarak.

Laser *Rangefinder* hanya mengukur jarak pada arah pandangnya. Dengan mengubah arah pandang *laser rangefinder* didapat jarak suatu titik pada arah yang berbeda pula. Perubahan arah pandang dapat dilakukan dengan memutar *laser Rangefinder* maupun dengan suatu sistem putaran cermin. Sistem putaran cermin lebih banyak digunakan karena lebih ringan dan dapat diputar lebih cepat dengan tingkat akurasi yang sangat tinggi. Alat ini terdiri dari beberapa komponen yaitu transmitter (pemancar pulsa), penerima pulsa (terdiri dari detektor, penguat sinyal dan *Automatic Gain Kontrol* (AGC)), pengukur waktu elektronik, pemancar dan penerima optis.

Mekanisme pengukuran laser *rangefinder* ini, pemancar laser memancarkan dalam pulsa pendek yang terbagi menjadi dua bagian, satu dipancarkan ke penerima sinyal untuk mengaktifkan unit pengukur waktu elektronis satu lagi dipancarkan ke objek. Ketika laser yang dipancarkan menyentuh objek, laser tersebut akan terhamburkan dan sebagian ada yang kembali ke detektor. Didalam detektor kekuatan pancaran pulsa akan dikonversikan menjadi arus listrik yang kemudian akan diterima dan diteruskan oleh penguat sinyal yang disebut diskriminator waktu. Saat arus listrik mencapai diskriminator waktu, hal tersebut menandakan waktu kembalinya pulsa dan akan menghentikan pengukuran waktu. Interval waktu antara pulsa dipancarkan hingga kembali digunakan untuk menghitung jarak antara alat TLS dengan objek.





Gambar 2.5, Mekanisme pengukuran TLS berbasis pulsa (Reshetyuk 2009)

Perhitungan jarak dengan TLS berbasis pulsa mengikuti pada persamaan berikut (Reshetyuk 2009)

$$R = \frac{c \cdot t}{2} \dots\dots\dots (2.2)$$

Dengan :

- R : Jarak antara TLS dengan objek
- c : Kecepatan cahaya diudara ( $3 \times 10^8$  m/s)
- t : waktu tempuh laser ketika dipancarkan hingga diterima

## 2. Sistem pengukuran Sudut

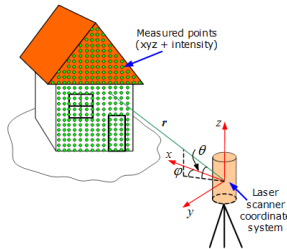
TLS juga memiliki sistem pengukuran sudut yang dapat digunakan untuk mendapatkan koordinat objek. Sistem pengukuran sudut terdiri dari komponen *angular encoders* yang berfungsi untuk mengukur arah horizontal dan sudut vertikal sinar laser TLS ke objek.

## 3. Perhitungan Koordinat

Untuk mendapatkan nilai koordinat objek dengan menggunakan TLS , adapun beberapa parameter yang diukur dalam setiap objek, yaitu :

- Jarak (R)
- Arah Horizontal ( $\varphi$ )
- Sudut Vertikal ( $\theta$ )

Selain melakukan ketiga pengukuran diatas terhadap setiap objek, TLS juga melakukan pengukuran intensitas pantulan sinar laser dari setiap *point clouds*.



Gambar 2.6, Prinsip pengukuran TLS (Reshetyuk 2009)

Hubungan antara data pengamatan ( $r, \varphi, \theta$ ) dan koordinat ( $n, e, u$ ) dapat dituliskan dalam persamaan berikut ini (Reshetyuk, 2009) :

$$x_i = \begin{bmatrix} e_j \\ n_j \\ u_j \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r_j \sin\varphi_j \cos\theta_j \\ r_j \sin\varphi_j \sin\theta_j \\ r_j \cos\theta_j \end{bmatrix} \dots\dots\dots (2.3)$$

Dengan :

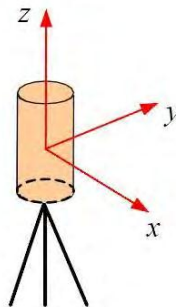
- $r_j$  : Jarak hasil pengukuran waktu tempuh laser ke objek;
- $\varphi_j$  : Sudut horizontal antara arah bidikan laser dengan sumbu-e alat;
- $\theta_j$  : Sudut vertikal antara bidang horizontal dengan arah bidikan laser ke objek;
- $e_j$  : Koordinat  $e$  *point clouds* dalam sistem koordinat alat;
- $n_j$  : Koordinat  $n$  *point clouds* dalam sistem koordinat alat;
- $u_j$  : Koordinat  $u$  *point clouds* dalam sistem koordinat alat;

## **2.4 Teknik Registrasi Data**

Objek yang dapat dipindai oleh laser *scanner* dapat berupa objek yang besar dan memiliki bentuk yang kompleks. Oleh karena itu, dibutuhkan beberapa kali proses pemindaian. Proses pemindaian dilakukan dalam beberapa tempat berdiri alat agar didapatkan hasil pemindaian yang lengkap dari suatu objek. *Point clouds* yang dihasilkan pada tiap pemindaian, mengacu pada sistem koordinat internal

yang direferensikan terhadap alat. Sistem koordinat internal tersebut bisa didefinisikan sebagai berikut.

1. *Origin*, didefinisikan pada *scanner electro optical center*.
2. Sumbu z, berada sepanjang sumbu vertikal (rotasi alat).
3. Sumbu x, berada sepanjang sumbu optis alat.
4. Sumbu y, *orthogonal* terhadap sumbu z dan sumbu x, dengan bentuk sistem kaidah tangan kanan.



Gambar 2.7, Sistem koordinat laser scanner (Reshetyuk 2009)

Representasi hasil pemindaian yang lengkap dari suatu objek, yang dalam prosesnya melakukan proses transformasi pada hasil pemindaian objek ke dalam suatu sistem koordinat, tahapan ini disebut registrasi. Tahapan registrasi perlu dilakukan untuk menggabungkan data hasil pemindaian dari beberapa tempat berdiri alat. Agar proses registrasi bisa dilakukan, proses pemindaian harus terdapat area yang overlap antara proses pemindaian dari satu titik ke proses pemindaian titik berikutnya. Dalam melakukan proses registrasi dilakukan transformasi hasil pemindaian yang didalamnya dilakukan penentuan nilai parameter transformasi, yaitu 3 parameter translasi ( $\Delta X$ ,  $\Delta Y$ ,  $\Delta Z$ ) yang tergabung dalam komponen translasi dan 3 parameter rotasi ( $\kappa, f, \omega$ ) yang tergabung dalam matriks rotasi  $R$ .

Transformasi antara dua sistem koordinat yang berbeda  $\bar{X}_g$  dan  $\bar{X}_l$  bisa di deskripsikan secara matematis menggunakan *rigid body transformation* (Schluz 2007).

$$\bar{x}_g = R \cdot \bar{x}_t + \bar{t} \dots \dots \dots (2.4)$$

Dimana :

$\bar{x}_g$  : vektor koordinat dalam sistem koordinat global

$\bar{x}_t$  : vektor koordinat dalam sistem koordinat lokal

$R$  : matriks rotasi ( $\kappa, f, \omega$ )

$\bar{t}$  : komponen translasi ( $\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$ )

Selanjutnya, faktor skala, atau matriks skala dari sumbu yang berbeda bisa diberikan. Biasanya, matriks rotasi merupakan matriks yang *ortogonal*, di mana harus memenuhi 3 syarat (Schluz 2007).

$$\begin{aligned} R^T &= R^{-1} \\ R \cdot R^T &= R^T \cdot R = 1 \\ \det R &= \pm 1 \dots \dots \dots (2.5) \end{aligned}$$

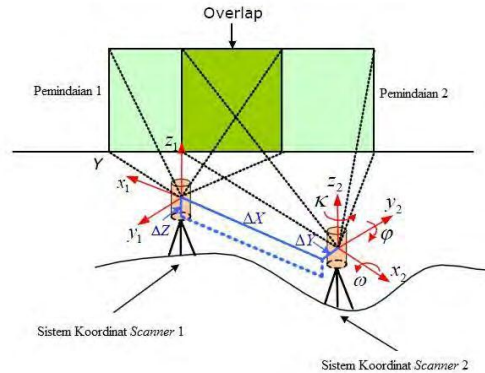
Dimana :

$R$  : Matriks rotasi

$R^T$  : *tranpose* dari matriks rotasi

$R^{-1}$  : *inverse* dari matriks rotasi

Ada beberapa metode registrasi data *point clouds* yang bisa digunakan, teknik registrasi yang dipilih akan mempengaruhi teknik survei yang akan dilakukan nantinya sehingga harus dipilih berdasarkan kondisi objek dan area di sekitar objek (Quintero 2008).



Gambar 2.8, Registrasi dua *point clouds* hasil pemindaian (Reshetyuk 2009)

### 1. *Target to target registration*

Metode registrasi ini adalah metode registrasi yang umum digunakan. Target yang digunakan dalam metode ini adalah target yang mempunyai reflektivitas tinggi dan dapat dikenali oleh alat sebagai target. Target tersebut digunakan sebagai titik ikat dari dua atau lebih tempat berdiri alat. Titik ikat tersebut yang menggabungkan kedua tempat berdiri alat sehingga mempunyai arah orientasi relatif yang sama.

### 2. *Cloud to cloud registration*

Registrasi ini menggunakan minimal 3 titik sekutu yang dimiliki dari kedua hasil scan. Konsep registrasi ini menggunakan metode *Iterative Closest Point* (ICP). Maksud dari konsep ini adalah mencari offset atau jarak terdekat secara berulang – ulang dari kedua titik yang terdekat antara kedua kumpulan *point clouds*. Walaupun titik minimal yang diperlukan berjumlah 3 titik, namun untuk mendapatkan ketelitian yang baik, pertampalan dari *point clouds* harus di atas 60% sehingga akan menambah beban kerja pada proses pengambilan data.

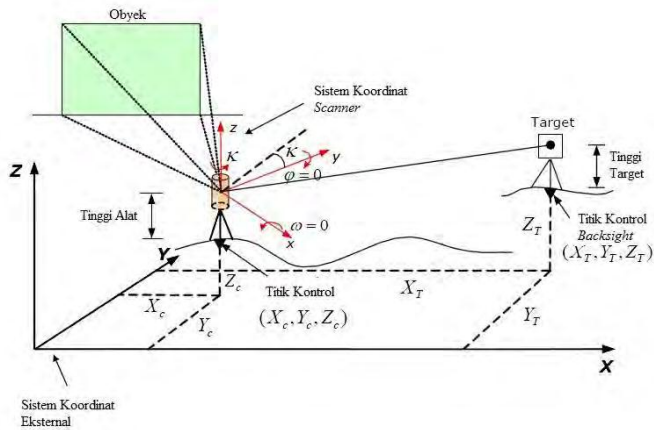
### 3. *Traversing*

Registrasi *traversing* menggunakan tempat berdiri alat sebagai titik sekutu dan memerlukan satu titik referensi sebagai titik awal *backsight*. Keunggulan metode ini adalah lebih cepat dalam menyelesaikan survei karena waktu untuk persiapan alat dan target tidak terlalu lama. Akan tetapi metode ini biasanya memberikan ketelitian pengukuran yang lebih rendah dibandingkan dengan metode lainnya.

## **2.5 Georeferensi**

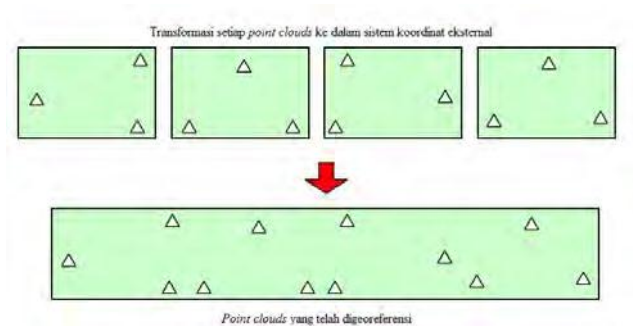
Tahap georeferensi dilakukan agar data TLS terintegrasi dalam data geospasial. Georeferensi dilakukan dengan meregistrasi seluruh data *point clouds* dari objek ke dalam sistem koordinat eksternal. Sebagian besar proses georeferensi diubah ke sistem koordinat geosentrik berdasarkan data pengukuran benchmark GPS Geodetik yang memiliki ketelitian yang baik. Ketelitian yang baik diperlukan karena ketelitian dari titik referensi akan mempengaruhi ketelitian nilai koordinat dari semua titik yang dihasilkan oleh pengukuran laser *scanner* (Quintero 2008). Tujuan georeferensi adalah menemukan transformasi yang tepat dari *point clouds* ke posisi sebenarnya berdasarkan koordinat titik kontrol sistem koordinat eksternal. Terdapat dua jenis metode georeferensi, yaitu secara langsung dan tidak langsung (Reshetyuk 2009).

Georeferensi secara langsung, diperlukan dua titik referensi yang diketahui koordinatnya. Satu titik referensi yang diketahui koordinatnya merupakan tempat berdiri alat sedangkan satu titik yang lain merupakan tempat berdiri target yang digunakan sebagai *backsight*. Tingkat akurasi teknik georeferensi secara langsung bergantung pada akurasi *centering* laser *scanner*, pendataran, pengukuran *backsight* dan pengukuran tinggi alat. Ilustrasi teknik georeferensi secara langsung dapat dilihat pada gambar berikut



Gambar 2.9, Georeferensi secara langsung (Reshetyuk 2009)

Georeferensi tidak langsung, adalah metode transformasi koordinat titik *point clouds* dari sistem koordinat *scanner* ke sistem koordinat luar dengan menggunakan target yang diketahui koordinatnya pada sistem koordinat luarnya. Target yang digunakan disebut titik kontrol, yang mana koordinatnya ditentukan dari pengukuran ETS, GPS atau survei fotogrametri. Untuk menghubungkan dua sistem koordinat ini di hubungkan dengan tiga titik kontrol yang terdistribusi dengan merata. Ada tiga pendekatan dalam melakukan georeferencing secara tidak langsung, yaitu pendekatan dua tahap, satu tahap dan menggunakan *surface matching* (Reshetyuk 2009).



Gambar 2.10, Georeferencing tidak langsung (Reshetyuk 2009)

## **2.6 Aplikasi TLS**

Perkembangan teknologi laser *scanner* telah merambah hingga ke berbagai bidang. Dalam teknik survei perekayasa, TLS dapat digunakan dalam berbagai bidang seperti :

1. Survei permodelan gedung dan fasilitas (industri, arsitektur dan lain-lain) untuk tujuan dokumentasi kondisi saat bangunan (Paramita dkk. 2012);
2. Dokumentasi monumen bersejarah untuk permodelan virtual, pemantauan dan penilaian kondisi ketidilatan dan kerusakan monumen (Riawan 2013);
3. Pemantauan deformasi kerucut sinder gunung (Vidyan 2013);
4. Permodelan untuk dokumentasi tempat kejadian perkara (Liscio, Hayden dan Moody 2015);
5. Dan dalam bidang - bidang yang lainnya.

## **2.7 Sumber-Sumber Kesalahan pada Pengukuran TLS**

Dalam setiap pengukuran hasil yang dihasilkan pasti tidak sempurna. Hal ini dikarenakan terdapat beberapa faktor kesalahan dalam suatu pengukuran yang dapat menyebabkan kesalahan terhadap pada data pengukuran. Menurut Wolf dan Ghilani (2006), sumber-sumber kesalahan dalam suatu pengukuran antara lain:



- a. Kesalahan operator;
- b. Kesalahan sistematis;
- c. Kesalahan acak.

Kesalahan operator biasanya dapat terjadi dikarenakan tidak hati-hatinya operator dalam melakukan pengukuran. Kesalahan sistematis merupakan kesalahan yang berhubungan dengan alat ukur yang digunakan, mulai dari jenis, kondisi, dan peletakan alat ukur yang digunakan. Biasanya kesalahan sistematis dapat diprediksi. Sedangkan kesalahan acak merupakan kesalahan yang tidak dapat diprediksi. Namun biasanya kesalahan operator atau kesalahan sistematis dapat memicu adanya kesalahan acak. Selain itu kesalahan acak juga dapat dipicu oleh faktor kondisi lingkungan yang dapat mempengaruhi kinerja alat.

Menurut Staiger dan Gordon (2005) dalam Reshetyuk (2009), faktor-faktor kesalahan dalam pengukuran TLS dapat dibagi ke dalam beberapa kategori di bawah ini:

### **2.6.1 Kesalahan Pada Instrument**

Kesalahan pada instrumen TLS biasanya dikarenakan dari desain *scanner* yang digunakan. Biasanya kesalahan ini berupa kesalahan acak atau kesalahan sistematis. Kesalahan acak biasanya mempengaruhi presisi pengukuran jarak dan sudut *rangefinder*. Sedangkan kesalahan sistematis pantas mendapatkan perhatian lebih dalam pada sistem laser *scanner*. Tidak seperti alat ukur lainnya, instrumen ini tidak dapat dikendalikan dan disesuaikan oleh pengguna sesuai kebutuhan, namun mengikuti prosedur standar. Akurasi pengukuran laser *scanner* dibatasi oleh komponen di dalamnya, seperti laser *rangefinder*, unit defleksi sinar, dan sistem sudut pengukuran (Reshetyuk 2009). Selain itu terdapat pula kesalahan sumbu yang menyebabkan ketidaksempurnaan konstruksi mekanik dari *scanner* yang juga dapat membatasi akurasi pengukuran.

Dalam TLS yang berjenis pengukuran berbasis pulsa, terdapat beberapa kesalahan sistematik lain yang akan dibahas di bawah ini.

1. Kesalahan pada laser *rangefinder*

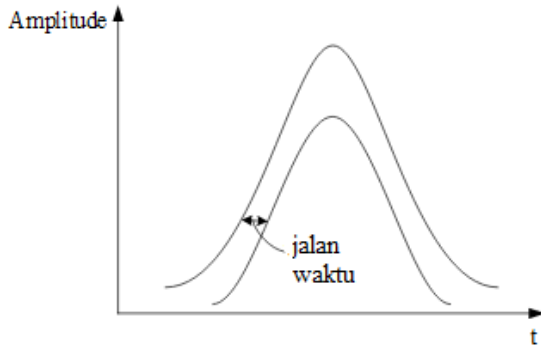
Sejak jarak menjadi dasar pengukuran TLS (Reshetyuk 2009), presisi dan akurasi pengukuran jarak dengan laser *scanner* lebih dalam ditinjau terhadap kinerja TLS. Kesalahan pada laser *rangefinder* dibagi menjadi dua jenis, yaitu kesalahan acak dan kesalahan sistematik.

Dalam pengukuran jarak, kesalahan acak ini menentukan presisi pengukuran. Sedangkan kesalahan sistematik dapat membatasi akurasi. Menurut Baltsavias (1999), terdapat beberapa faktor yang dapat menentukan akurasi pengukuran jarak, yaitu:

- Kemampuan dalam memilih posisi relatif dari sinyal yang dipancarkan dan diterima. Hal ini terutama dipengaruhi oleh peningkatan waktu penerimaan sinyal. Namun hal ini juga tergantung pada panjang gelombang cahaya yang digunakan dan ketahanan muatan detektor.
- Akurasi dari penghitung interval waktu dan kestabilannya.

2. Waktu Tempuh

Waktu Tempuh merupakan kesalahan pada diskriminator waktu yang diakibatkan oleh variasi dalam waktu amplitudo pulsa dan bentuk, yang tergantung pada permukaan target yang dipindai (Reshetyuk 2009).

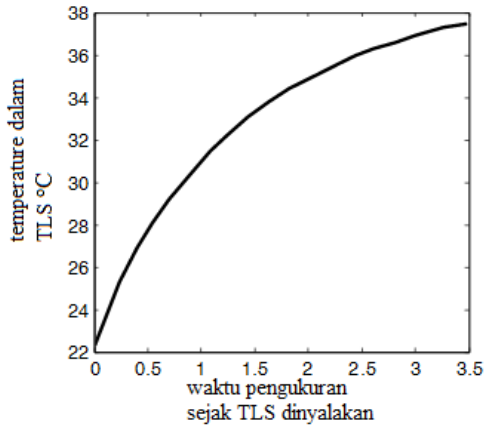


Gambar 2.11, Jalan waktu (Reshetyuk 2009)

### 3. Perubahan Temperatur

Perubahan temperatur dalam waktu pengukuran yang bersifat elektronik dapat mengakibatkan perubahan jarak, seperti:

- Perubahan temperatur lingkungan (faktor eksternal);
- Perubahan temperatur dalam *rangefinder* setelah beberapa waktu setelah dinyalakan atau “efek pemanasan” (faktor internal). Sebagian, temperatur dalam alat dapat dipertimbangkan lebih besar dibandingkan dengan temperatur lingkungan (Boehler dan Marbs 2005).



Gambar 2.12, Perubahan temperatur dalam alat menurut waktu (Reshetyuk 2009)

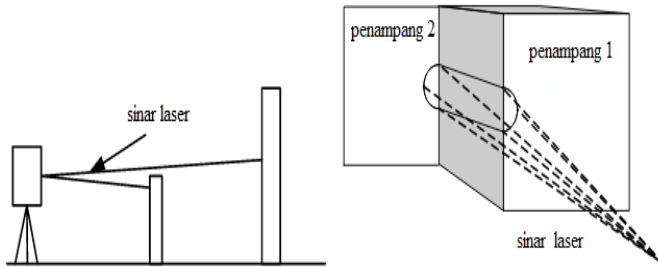
#### 4. Kesalahan titik nol dan skala

Dalam sisi instrumen, kesalahan titik nol merupakan perbedaan antara posisi nol listrik dan mekanik pada *scanner*, yang disebabkan karena kabel elektrik dan jeda komponen. Komponen tambahan dari kesalahan nol karena bergantung pada jarak yang diukur dengan reflektansi permukaannya. Sedangkan kesalahan skala merupakan faktor skala pada jarak yang diukur.

#### 5. Mixed pixels

*Mixed Pixels* atau *mixed edge* merupakan kondisi yang mana sebuah pulsa mengenai suatu permukaan yang memiliki pedalaman yang berbeda pada radius ukuran pulsa sinar laser itu sendiri. Apabila hal ini terjadi, maka pantulan pulsa laser akan terbagi dua, yang mana yang satu akan memberikan informasi mengenai bagian yang lebih tinggi dan yang satunya lagi memberikan informasi mengenai bagian yang lebih rendah karena menempuh jarak yang lebih jauh. Jika hal ini terjadi, maka sistem *rangefinder* akan menghitung jarak rata-rata yang dihasilkan dari perhitungan kedua pulsa laser yang datang tadi sebagai koordinat hasil

pengukuran, sehingga akan memberikan hasil yang salah dan tidak merepresentasikan keadaan yang sebenarnya.



Gambar 2.13, Ilustrasi *mixed pixels* (Reshetyuk 2009)

Kemungkinan hal ini terjadi akan semakin besar apabila resolusi pengukuran ditingkatkan. Hal ini dapat diatasi dengan menggunakan ukuran pulsa laser yang lebih kecil. Akan tetapi ukuran pulsa laser yang lebih kecil akan mengurangi jarak jangkauan maksimal pengukuran, sehingga ukuran pulsa laser harus dipilih berdasarkan kebutuhan tingkat akurasi dan jarak jangkauan yang diinginkan.

### **2.6.2 Kesalahan Terkait Objek**

Kesalahan ini sangat berkaitan dengan objek yang dipindai. Hal yang paling dapat menjadi sumber kesalahan ini adalah reflektansi permukaan objek yang dipindai. Karena TLS merupakan teknik survei yang tidak menggunakan reflektor, ini berarti hasil pengukuran sangat bergantung pada reflektansi. Menurut Reshetyuk (2009), fungsi dari reflektansi terdiri dari beberapa faktor berikut:

1. Bahan material objek;
2. Warna permukaan;
3. Panjang gelombang laser;
4. Sudut insidensi dari sinar laser;
5. Kekerasan permukaan objek;
6. Temperatur permukaan objek;
7. Bentuk permukaan objek.

Karena TLS mengukur dengan menggunakan pantulan pulsa laser yang merupakan gelombang cahaya, sistem pengukuran akan terkait sifat pemantulan cahaya pada objek yang diukur. Pulsa laser dipengaruhi oleh penyerapan intensitas selama perambatan di udara, intensitas pemantulan oleh material objek, dan sudut pantulan antara pulsa laser dengan objek. Hal ini mengidentifikasikan bahwa apabila suatu objek yang sangat gelap (tidak memantulkan cahaya) akan memantulkan sinyal yang sangat lemah, sehingga akurasi posisinya akan terganggu oleh *noise*. Sedangkan objek yang terlalu reflektif akan menyebarkan sinar pantulan dan mungkin akan menabrak permukaan lain yang kemudian akan masuk kembali ke laser *rangefinder*. Hasil dari pemantulan ini akan terlihat sebagai *noise* pada data *point clouds*.

### **2.6.3 Kesalahan Terkait Lingkungan**

Dalam suatu pengukuran dengan menggunakan TLS, kondisi lingkungan sangatlah mempengaruhi hasil pengukurannya. Terdapat beberapa faktor lingkungan yang dapat mempengaruhi hasil dari pengukuran menggunakan TLS (Reshetyuk 2009), seperti:

#### **1. Temperatur**

Temperatur di dalam *scanner* dapat jauh lebih tinggi dibandingkan dengan temperatur pada atmosfer saat pengukuran berlangsung. Hal ini dikarenakan terjadinya pemanasan internal dari radiasi eksternal seperti matahari. Radiasi eksternal dapat memanaskan salah satu sisi tripod atau *scanner* yang digunakan, yang dapat mengakibatkan sisi tersebut memuai dan membuat distorsi pada data hasil pemindaian. Temperature permukaan yang dipindai juga sangat mempengaruhi hasil pengukuran. Ketika TLS memindai target yang bertemperatur panas, seperti alat-alat industri, radiasi pada permukaan target dapat membuat sinyal yang dipancarkan menjadi terhamburkan dan menyebabkan kurangnya presisi pada pengukuran tersebut.

## 2. Atmosfer

TLS akan bekerja dengan baik dalam rentang suhu dan tekanan tertentu. Semua pengukuran jarak yang berbasis laser dapat memiliki kesalahan alami yang berasal dari variasi atmosfer, seperti temperatur, tekanan dan kelembaban, yang mana dapat menimbulkan efek refraksi dan memodifikasi panjang gelombang dari energi elektromagnetik. Hal ini berarti kecepatan sinar laser sangat bergantung pada kepadatan udara. *Scanner* telah dirancang menurut standar atmosfer ISO untuk dapat melakukan pengukuran, yaitu dalam suhu 15°C dan tekanan 1.013,25 hPa. Perubahan suhu sebesar 10°C dan tekanan sebesar 35 hPa akan memberikan kesalahan sebesar 1mm pada jarak 100 m. Pada beberapa TLS sudah terdapat alat pengukur suhu dan tekanan di dalamnya, sehingga perhitungan koreksinya sudah dilakukan secara otomatis. Namun jika pada TLS tidak terdapat alat pengukur suhu dan tekanan, kedua variabel tersebut harus dicatat secara manual untuk dimasukkan ke dalam koreksi pada saat pengolahan data.

## 3. Gangguan Radiasi Luar

Dikarenakan TLS beroperasi menggunakan pulsa laser dengan cakupan gelombang yang sempit, gelombang sangat dapat terpengaruh oleh gelombang lain yang dari luar. Akan tetapi, TLS saat ini biasanya sudah dilengkapi dengan filter optis untuk mengatasi gangguan ini.

## 4. Pergerakan Instrumen

Dalam pengambilan data dengan TLS, proses pemindaian biasanya memakan waktu yang cukup lama, terutama jika ingin mendapatkan hasil yang beresolusi yang tinggi. Selama rentang waktu pengambilan data, pergerakan sekecil apa pun pada posisi alat dapat mempengaruhi hasil pengukuran, sehingga dalam pengambilan data sebaiknya dilakukan dalam posisi yang stabil. Saat ini beberapa TLS telah dilengkapi dengan *dual compensator* untuk mengatasi pergerakan secara otomatis selama proses pemindaian

dilakukan. Komponen ini akan mengoreksi posisi dari alat apabila terjadi pergerakan selama proses pemindaian berlangsung. Akan tetapi dual compensator juga memiliki batas toleransi untuk mengoreksi pergerakan posisi alat yang digunakan. Jika pergerakan alat di luar batas toleransi yang dimiliki *dual compensator*, proses pemindaian akan terhenti secara otomatis.

## **2.8 Pengukuran Terestris**

Pada pemetaan topografi secara terestris, kumpulan titik di muka bumi dibagi menjadi dua, yaitu kumpulan titik kerangka dasar dan kumpulan titik detail. Titik kerangka dasar atau sering disebut titik kontrol merupakan sejumlah titik yang dibuat dan dipasang di lapangan yang merupakan kerangka dasar pemetaan dengan fungsi sebagai titik ikat pengukuran titik – titik detail serta pengontrol pengukuran titik – titik lainnya. Kumpulan titik detail merupakan titik – titik yang ada di lapangan yang merupakan antara lain titik – titik pojok bangunan, titik batas tanah, titik sepanjang pinggir jalan serta titik – titik lain yang letak dan kerapatannya ditentukan untuk menggambarkan bentuk dari permukaan tanah (Nurjati 2004)

## **2.9 Poligon**

Poligon berasal dari kata poli yang berarti banyak dan gonos yang berarti sudut. Secara harfiahnya, poligon berarti sudut banyak. Namun arti yang sebenarnya adalah rangkaian titik-titik secara berurutan sebagai kerangka dasar pemetaan (Nurjati 2004).

Berdasarkan dasar bentuknya, poligon dibedakan menjadi tiga macam, yaitu poligon terbuka, tertutup, dan bercabang. Poligon tertutup adalah titik awal dan akhirnya menjadi satu. Poligon ini paling banyak digunakan karena tidak membutuhkan titik ikat yang banyak dan hasil ukurannya yang cukup teliti.

Sebagai kerangka dasar, posisi atau koordinat titik-titik poligon harus diketahui atau ditentukan secara teliti. Karena



akan digunakan sebagai ikatan detil, pengukuran poligon harus memenuhi kriteria atau persyaratan tertentu.

Karena bentuknya poligon tertutup maka terbentuk segi banyak atau segi  $n$ , dengan  $n$  adalah banyaknya titik polygon. Oleh karena itu syarat-syarat geometris dari polygon tertutup adalah

a. Syarat sudut:

Jika sudut dalam

$$0 = \sum \beta - (n-2) \cdot 180^\circ \dots\dots\dots(2.6)$$

Jika sudut luar

$$0 = \sum \beta - (n+2) \cdot 180^\circ \dots\dots\dots(2.7)$$

b. Syarat absis

$$0 = \sum \Delta X \dots\dots\dots(2.8)$$

c. Syarat Ordinat

$$0 = \sum \Delta Y \dots\dots\dots(2.9)$$

Keterangan :

$\sum \beta$  = Jumlah sudut

$n$  = Jumlah titik

$\sum \Delta X$  = Jumlah selisih absis

$\sum \Delta Y$  = Jumlah selisih ordinat

Adapun prosedur perhitungannya sama dengan prosedur perhitungan pada poligon terikat sempurna. Pada poligon terikat sepihak dan poligon terbuka tanpa ikatan, syarat-syarat geometris tersebut tidak dapat diberlakukan di sini. Hal ini mengakibatkan posisinya sangat lemah karena tidak adanya kontrol pengukuran dan kontrol perhitungan. Jadi sebaiknya poligon semacam ini dihindari. Posisi titik-titik poligon yang ditentukan dengan cara menghitung koordinat-koordinatnya dinamakan penyelesaian secara numeris atau poligon hitungan (Nurjati 2004 ).

## **2.10 Toleransi Pengukuran**

Toleransi pengukuran terbagi menjadi dua yaitu toleransi sudut dan jarak. Toleransi kesalahan penutup sudut tidak lebih dari sama dengan  $i''\sqrt{n}$ , dengan  $n$  adalah jumlah titik

polygon. Toleransi kesalahan penutup jarak tidak lebih dari sama dengan  $1/5000$  sesuai dengan ketelitian alatnya. Untuk penjabaran rumus toleransi sudut dan jarak dapat dilihat pada berikut ini:

$$f\beta \leq i\sqrt{n} \dots \dots \dots (2.10)$$

dimana

- $f\beta$  = Salah penutup sudut  
 $i$  = Bacaan skala terkecil alat ( ketelitian)  
 $n$  = Jumlah sudut yang diukur

$$\frac{\sqrt{f_x^2 + f_y^2}}{\sum D} \leq \frac{1}{5000} \dots \dots \dots (2.11)$$

dimana

- $\sqrt{f_x^2 - f_y^2}$  = Salah linier  
 $\sum D$  = Jumlah jarak antara sudut

## **2.11 Pengukuran Detail**

Detil adalah segala objek yang bersifat alamiah seperti sungai, lembah, bukit, alur, dan rawa, maupun hasil budaya manusia seperti jalan, jembatan, gedung, lapangan, stasiun, selokan, dan batas-batas pemilikan tanah yang akan dijadikan isi dari peta yang dibuat (Basuki 2006). Ada beberapa metode pengukuran titik detil, antara lain:

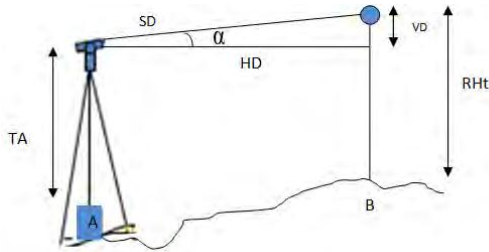
1. Metode offset
2. Metode polar (tachimetry)
3. Metode perpotongan ke muka

## **2.12 Metode Tachimetri**

Tachimetri berasal dari kata dasar tacheo, yang berarti cepat dan metry, yang berarti pengukuran (Basuki 2006). Di Amerika lebih dikenal dengan nama *Stadia Metode*. Metode yang digunakan untuk menentukan dengan cepat jarak horizontal dan elavasi sebuah titik (Wolf dan Ghilani 2001). Metode ini dibagi menjadi:

1. Pengukuran dengan azimuth
2. Pengukuran dengan sudut

Adapun ilustrasi rumus dasar tachimetri dapat dilihat pada gambar berikut ini :



Gambar 2.14 Dasar Tachimetri (Basuki 2006)

$$HD = SD \cdot \cos \alpha \dots\dots\dots(2.11)$$

$$VD = HD \cdot \tan \alpha \dots\dots\dots(2.12)$$

$$\Delta HAB = TA + VD - Rht \dots\dots\dots(2.13)$$

Keterangan:

HD : jarak horizontal

SD : jarak miring

$\alpha$  : sudut miring

TA : tinggi alat

VD : jarak vertikal

Rht : tinggi target

$\Delta HAB$  : Beda tinggi A dan B

## **2.13 Uji Statistik**

Hipotesis adalah dugaan yang sering digunakan sebagai dasar pembuatan keputusan untuk dasar penelitian lebih lanjut. Dalam lingkup lebih spesifik, hipotesis dapat disebut sebagai hipotesis statistik, dimana hipotesis statistik adalah suatu anggapan atau pernyataan, yang, mungkin benar atau tidak, mengenai satu populasi atau lebih (Walpole dkk 1995). Dalam melakukan uji hipotesis, ada banyak faktor yang menentukan, seperti apakah sampel yang diambil berjumlah banyak atau hanya sedikit, apakah standar deviasi

populasi diketahui, apakah varians populasi diketahui, metode parametrik apakah yang dipakai, dan seterusnya (Ghilani & Wolf 2006). Langkah – langkah untuk menguji suatu hipotesis adalah sebagai berikut:

1. Menentukan hipotesa nol ( $H_0$ ) dan hipotesa alternatif ( $H_a$ ).  $H_0$  merupakan hipotesis nilai parameter yang dibandingkan dengan hasil perhitungan dari sampel.  $H_0$  ditolak hanya jika hasil perhitungan dari sampel tidak mungkin memiliki kebenaran terhadap hipotesis yang ditentukan.  $H_a$  diterima jika  $H_0$  ditolak.
2. Menentukan tingkat signifikansi yang digunakan. Tingkat signifikansi merupakan standar statistik yang digunakan untuk menolak  $H_0$ . Jika ditentukan tingkat signifikansi 10% ( $\alpha = 0,1$ ),  $H_0$  ditolak hanya jika hasil perhitungan dari sampel sedemikian berbeda dengan nilai dugaan (yang dihipotesakan).
3. Memilih uji statistik.
4. Menentukan statistik tabel. Nilai statistik tabel dipengaruhi oleh:
  - a. Tingkat kepercayaan
  - b. Derajat kebebasan
  - c. Jumlah sampel yang didapat
5. Menentukan statistik hitung.
6. Mengambil keputusan.

Uji-*t student* termasuk dalam golongan statistika parametrik. Uji-*t* adalah jenis pengujian statistik untuk mengetahui apakah terdapat perbedaan dari nilai yang diperkirakan dengan nilai hasil perhitungan statistik. Uji-*t* pada dasarnya menunjukkan seberapa jauh pengaruh satu variabel bebas secara individual dalam menerangkan variasi variabel terikat. Statistik uji ini digunakan dalam pengujian hipotesis. Uji- *t* digunakan ketika informasi mengenai nilai

varians (ragam) populasi tidak diketahui. Berikut ini merupakan rumus Uji *t Student* :

$$t = \frac{X_{\text{mean}} - \mu_0}{s/\sqrt{n}} \dots \dots \dots (2.14)$$

dimana

t : t hitung

Xmean : Rata-rata sample

$\mu_0$  : Rata-rata tertentu (yang menjadi perbandingan)

s : Standar sample

n : Jumlah sample

*Root Mean Square Error* (RMSE) merupakan parameter yang digunakan untuk mengevaluasi nilai hasil dari pengamatan/pengukuran terhadap nilai sebenarnya atau nilai yang dianggap benar. ihitung dengan menguadratkan error (prediksi – ukuran) dibagi dengan jumlah data (rata-rata), lalu diakarkan. Standar deviasi merupakan konsep akurasi yang menunjukkan tingkat ketelitian atau kedekatan setiap data dengan data lainnya dalam pengamatan terhadap suatu objek.

## **2.14 Penelitian Terdahulu**

1. Penelitian yang dilakukan oleh Adhitiputra (2013) dengan menggunakan alat TLS Leica ScanStation C10 dan Topcon Reflektorless GPT 7500 didapatkan kesimpulan bahwa nilai kesalahan rata-rata pengukuran TLS sebesar :

- 0,004 m dalam ukuran jarak ruang
- 0,005 m dalam sumbu-e (easting);
- 0,002 m dalam sumbu-n (northing);
- 0,032 m dalam sumbu-u (up)

Nilai kesalahan ini mengacu kepada hasil pengukuran TLS dengan jarak antara 1,901 m hingga 11,280 m. Penyebab kesalahan data jarak ini dikarenakan adanya perbedaan dari jenis dan kelas laser *range finder* yang digunakan oleh kedua alat, perbedaan dalam melakukan banyaknya pengukuran, ETS melakukan pengukuran

sebanyak satu kali sedangkan untuk TLS didapat dari empat posisi data. Semakin jauh jarak ruang semakin besar selisih perbedaan koordinat antara TLS dan ETS dalam ketiga sumbu cenderung besar. Hal ini menandakan semakin jauh jarak ruang yang dibentuk, kesalahan posisi target yang dihasilkan oleh TLS semakin besar (Adhitiaputra 2013).

2. Penelitian yang dilakukan oleh Rachmawan (2016) dengan judul Visualisasi 3D Bangunan Cagar Budaya Menggunakan Terrestrial Laser Scanner dengan studi kasus Tugu Pahlawan, dengan menggunakan alat Terrestrial Laser Scanner Geomax Zoom 300. Pada penelitian ini selain melakukan permodelan 3D, juga dilakukan perbandingan data tinggi bangunan menggunakan alat TLS dan ETS. Dan hasil yang didapatkan dari perbandingan tersebut adalah seperti berikut ini :
  - Pengukuran Total station mendapatkan tinggi bangunan sebesar 41,147 m
  - Pengukuran Terrestrial Laser Scanner mendapatkan tinggi bangunan sebesar 41,144 m
  - Menurut data dari UPT Monumen Tugu Pahlawan Surabaya memiliki ketinggian 41,148 m
3. Penelitian yang dilakukan oleh Maulidin (2016) dengan judul Studi Penentuan Volume Dengan Total Station Dan Terrestrial Laser Scanner dengan Total Station Sokkia CX102 dan TLS Geomax Zoom 300. Pada penelitian ini dilakukan pengukuran volume pada dua obyek yaitu Kontainer dan Bukit Kapur Jaddih dengan menggunakan dua alat tersebut dan membandingkan hasilnya. Hasilnya perhitungan volumenya seperti berikut ini :
  - Obyek 1 (Kontainer) volume yang dihasilkan Total Station sebesar  $75,007 \text{ m}^3$ , sedangkan volume yang dihasilkan Terrestrial Laser Scanner sebesar  $74,981 \text{ m}^3$ ;

- Obyek 2 (Bukit Kapur Jedih) volume yang dihasilkan Total Station sebesar  $89,117 \text{ m}^3$ , sedangkan volume yang dihasilkan Terrestrial Laser Scanner sebesar  $89,142 \text{ m}^3$
4. Penelitian yang dilakukan oleh Muzaka (2015) dengan judul Aplikasi Terrestrial Laser Scanner Untuk Pemantauan Deformasi Bangunan dengan studi kasus Tangki Klirifier PDAM Kota Semarang. Alat yang digunakan adalah FARO Laser Scanner Focus 3D dan Total Station Sokia Set 630R. Pada penelitian ini dilakukan perbandingan antara data tinggi dan diameter As Built drawing dengan data pengukuran TLS dan TS. Berikut ini merupakan kesimpulan dari peneliti ini :
- Pada data tinggi tangki, selisih antara TLS dan As Built Drawing memiliki rata-rata sebesar  $0,033 \text{ m}$ ;
  - Pada data tinggi tangki, selisih antara TLS dan Total Station memiliki rata-rata sebesar  $0,001 \text{ m}$ .
  - Pada data diameter tangki, selisih antara TLS dan As Built Drawing memiliki rata-rata sebesar  $0,006 \text{ m}$
  - Pada data diameter tangki, selisih antara TLS dan Total Station memiliki rata-rata sebesar  $0,002 \text{ m}$ .

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*



## **BAB III**

### **METODOLOGI PENELITIAN**

#### **3.1 Lokasi Penelitian**

Lokasi penelitian tugas akhir ini berada pada 2 tempat didalam ruangan yang berbeda ukuran dan bentuknya , yaitu :

1. Ruang kelas 104, Jurusan Teknik Geomatika ITS Surabaya (Ruang I) ;



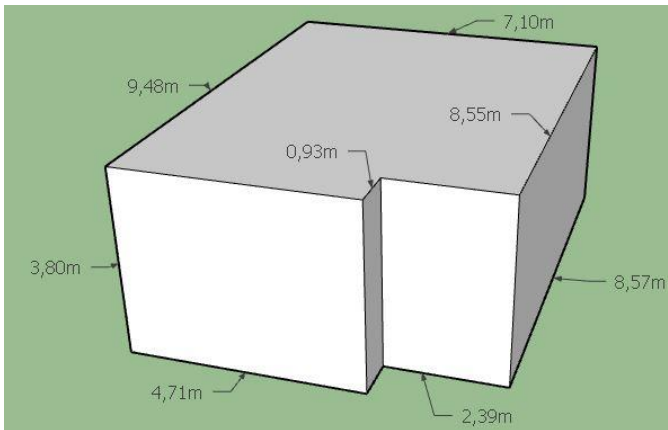
Gambar 3.1, Ruang Kelas 104

2. Ruang kantor PT. ASABA Surveiing (Ruang II).

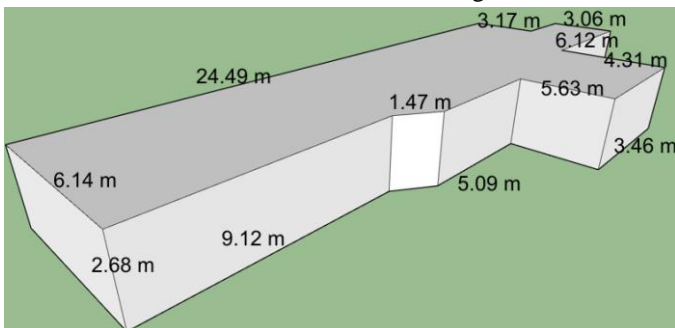


Gambar 3.2, Ruang Kantor ASABA

Pengambilan data dilakukan pada dua ruangan yang memiliki ukuran dan bentuk yang berbeda. Kedua ruangan ini dipilih karena memiliki ukuran yang berbeda, dari ukuran yang kecil untuk Ruang I dan ukuran yang besar untuk Ruang II. Berikut adalah ilustrasi dari kedua ruangan tersebut :



Gambar 3.3, Dimensi Ruang I



Gambar 3.4, Dimensi Ruang II

## **3.2 Data dan Peralatan**

### **3.2.1 Data**

Data yang digunakan dalam penelitian tugas akhir ini antara lain:

1. Data hasil pengukuran koordinat menggunakan Terrestrial Laser Scanner
2. Data hasil pengukuran koordinat menggunakan Electronic Total Station

### **3.2.2 Peralatan**

Peralatan yang digunakan dalam penelitian tugas akhir ini antara lain:

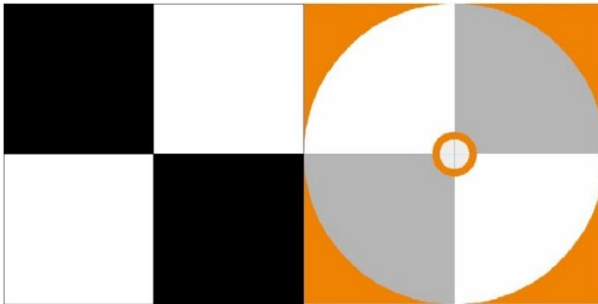
1. Perangkat Keras
  - *Terrestrial Laser Scanner* Topcon GLS 2000M
  - *Electronic Total Station* Hi-Target ZTS 320R
  - Target Koordinat
  - Pita Ukur
  - Prisma
  - Tribach
  - Statif
  - Laptop



Gambar 3.5, TLS Topcon GLS 2000



Gambar 3.6, ETS Hi Target ZTS 320 R



Gambar 3.7, Target Ruang I (kiri) & Target Ruang II (kanan)

Berikut ini merupakan spesifikasi alat utama yang digunakan pada penelitian ini, yaitu TLS dan ETS :

Tabel 3.1, Spesifikasi TLS Topcon GLS 2000

Type	short	middle	Long	
Distance				
Detail (90% reflectivity)	100m	100m	100m	
High Speed (90% reflectivity)	130m	210m	210m	
Low Power (90% reflectivity)	130m	210m	210m	
Standard (90% reflectivity)	-	350m	500m	
Close Scan (9% reflectivity)	40m	40m	40m	
Scanning Part				
Scan Mode	Detail	High Speed	Low Power	Standard
Scan data rate (Maximum points per seconds)	120000	120000	48000	60000
Laser Class	Class 3R		Class 1	Class 3R
Laser Class	1064nm			
Scanning Density (Resolving Power)				
Spot Size (FWHM)	$\varphi \leq 4\text{mm}$	$\varphi \leq 11\text{mm}$		
Poin Increment	1 to 20m	1 to 150m		
Maximum Point Number	Minimum 3.1mm(At 10m)			
Field of View	v;15,202 Pt/Line (270°) H;20,268 Pt/Line 360°			
Angle Range	V:270°/ H:360°			
Angle Accuracy	H: 6" / V: 6"			
Distance Accuracy	3.5mm (σ)	3.5mm (σ)	4.0mm (σ)	3.5mm (σ)

Lanjutan tabel 3.1, Spesifikasi TLS Topcon GLS 2000

Height Measurement	At 1 to 90m	At 1 to 110m	At 1 to 110m	At 1 to 150m
Measuring Range	2.0mm (σ)			
Measuring Accuracy	At 1 to 90m	At 1 to 110m	At 1 to 110m	At 1 to 150m
Camera Part				
Field Angle	Wide : Diagonal 170°			
	Tale : 8.9°(V) x 11.9°(H)			
Number of Pixels	Both Wide & Tale 5megapixels			
Tilt Sensor				
Type	Liquid 2-axis tilt-sensor			
Compensation Range	±6'			
Display Unit				
Type	TFT-LCD 3.5 VGA with touch-panel			
Others				
Laser Plummet	Spot size Ø 1mm(1m) / Ø 4mm(1.5m)			
Imaging Plummet	magnification range 1m			
Interface				
Card Slot	SD card (SDHC Class 6 or more)			
Power Supply				
Internl Battery	BDC70			
Capacity	5240mAh / 1pce x 4pcs			
Nominal Voltage	7.4V / 1pce x pcs			
Working Duration	2.5 hours (4pcs continuous <i>scanning</i> )			
Appearance				
Dimension	228 (D)x293 (W)x 412 (H) mm (With handle & Base)			
Inst height	226mm (From top of ase to canter of Miller)			
Weight	10kg (Include Base and Battery)			

Lanjutan tabel 3.1, Spesifikasi TLS Topcon GLS 2000

Condition	
Operating Temperature	-5 to +45°C
Storage Temperature	-20 to + 60°C
Water & Dust Resistance	IP54 (JIS CO920, IEC 605529)

Tabel 3.2, Spesifikasi Hi-Target ZTS 320R

Specifications		
Model		ZTS-320/320R
Angle Measurement (Hz, V)		
Measurement Method		Absolute Encoder
Display resolution		1"/5"selectable (2 mgon)
Accuracy *1		2"
Distance Measurement		
Laser output		
Measuring Range	Reflector-less *2	350m (1,148 ft.)
	Reflector (60mmx60 mm)	800m (2.624 ft.)
	Single prism	2000m to 2500m (6,560 ft. to 8,200ft.)
	Three prism	5000m (16,400ft.) under good condition *3
Accuracy	Reflector-less	$\pm (3+2\text{ppm} \times D)$ mm
	Prism	$\pm (2+2\text{ppm} \times D)$ mm
Measuring Time	Reflector-less	Fine/Repeat 2s, tracking 1.5s
	Prism	Fine 1.5s, Repeat 1s, tracking 0.5s

Lanjutan tabel 3.2, Spesifikasi Hi-Target ZTS 320R

Telescope		
Magnification	30X	
Field of View	1°30′	
Minimum Focusing Distance	1.5m (4.9ft.)	
Reticle	Illuminated	
Compensator		
Sistem	Single-axis liquid-electric tilt sensor	
	Dual-axis (optional)	
Working Range	±3′ (±56 mgon)	
Setting Accuracy	1″(0.3 mgon)	
General		
Communic ation	Internal Data Memo ry	Approx. 20,000 Points
	Interface	Standard RS232 port, SD card*4, mini USB , standard USB port (Bluetooth optional)
	Data Format	ASCII (DXF/GSI optional)
	Operation sistem	Real-time English Operating Sistem
	Display	Graphics:192*96 dots /backlight / Character:6 lines*12 characters/ contrast adjustment
	Keyboard	2 sides Alphanumeric keyboard
Laser Plummet	Type	Laser diode, Brightness Adjustment in steps
		Optical plummet (optional)
	Beam Accuracy	1 mm ( 1.5m instrument height)



Lanjutan tabel 3.2, Spesifikasi Hi-Target ZTS 320R

Power supply	Battery Type	Rechargeable Li-ion battery
	Voltage/Capacity	ZBA-400:7.4V(DC) / 3000mAh
	Operating time with ZBA-400	Optimal 16 hrs*5 (single distance measurement every 30 second)
	Measuring times	Around 12000 times
Weight (Incl. Battery & Tribrach )		Approx. 5.5kg (12.1lb.)
Environmental	Operating temperature	-20°C to+ 50°C( -4°Fto +122°F)
	Storage temperature	-40°C to+ 70°C(-40°Fto + 158°F)
	Dust & Water proofing (IEC60529 Standard)	IP55

## 2. Perangkat Lunak

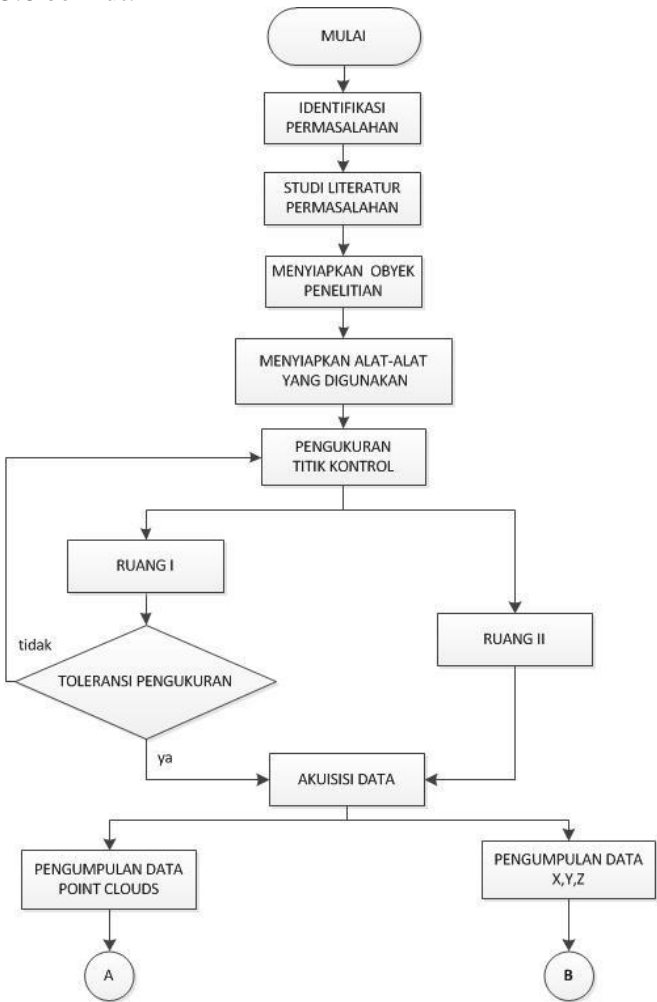
Perangkat lunak yang digunakan untuk menunjang proses pengerjaan penelitian ini adalah sebagai berikut ini :

- Sistem Operasi Windows 7
- Software Maptek I-Site Studio 7.0
- Software Microsoft Office

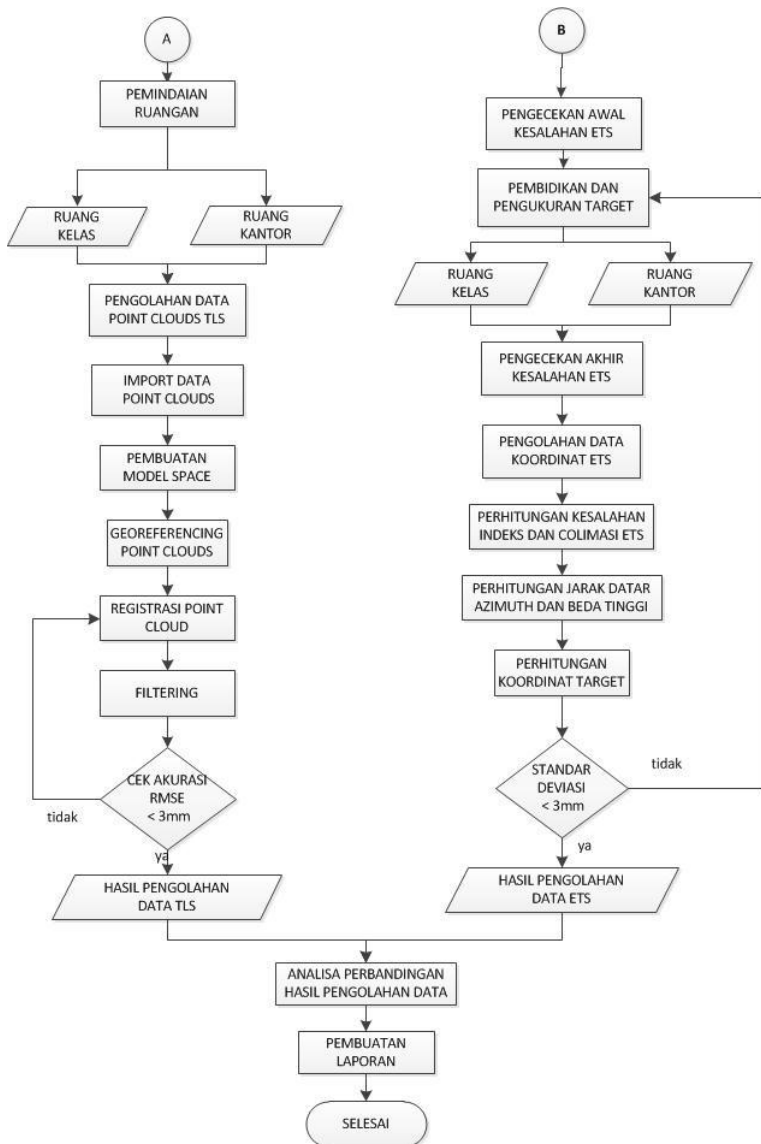
**3.3 Metodologi Penelitian**

**3.3.1 Tahapan Penelitian**

Tahapan dari penelitian ini ditunjukkan dalam Gambar 3.8 berikut:



Gambar 3.8, Diagram Alir Tahapan Penelitian



Gambar 3.9, Lanjutan Diagram Alir Tahapan Penelitian

Penjelasannya seperti berikut ini :

1. Identifikasi masalah, dalam tahapan ini terlebih dahulu penulis melihat fakta serta perkembangan suatu permasalahan yaitu tentang alat canggih dibidang terestris Terrestrial Laser Scanner. Dari hal tersebut penulis dapat dirumuskan suatu permasalahan yang diangkat. Agar pembahasan lebih terarah dituliskan juga batasan masalah yang dibahas dalam suatu penelitian.
2. Studi literatur, dalam tahapan ini penulis mulai mempelajari referensi terkait topik yang diangkat yaitu TLS. Hal ini merupakan landasan dalam menganalisis dan menyelesaikan suatu permasalahan.
3. Menyiapkan Obyek Penelitian, pada tahap ini kedua ruangan yang sebelum pengukuran dilakukan persiapan untuk memudahkan proses pengukuran. Hal yang dipersiapkan seperti pengkondisian ruangan, pembuatan target koordinat, penentuan titik kontrol untuk tempat berdiri alat, serta penempelan target koordinat yang pada kedua ruangan tersebut agar nantinya tidak terhalang.
4. Pengukuran Titik Kontrol, pada tahap ini dilakukan pengukuran titik kontrol pada obyek penelitian untuk mengetahui posisi titik tempat berdiri alat sehingga hasil pengukuran memiliki sistem koordinat. Pengukuran titik kontrol ini menggunakan sistem koordinat lokal. Pada ruang I menggunakan poligon tertutup sedangkan ruang II menggunakan poligon terbuka. Titik kontrol yang digunakan sebanyak 4 titik. Pada ruang I dilakukan validasi toleransi pengukuran, jika pengukuran tidak memenuhi toleransi pengukuran akan dilakukan kembali pengukuran titik kontrol, sedangkan pada ruang II tidak menggunakan validasi dikarenakan pengukuran titik kontrolnya yang menggunakan metode terbuka yang tidak memiliki toleransi pengukuran. Metode ini dipilih karena keterbatasan kondisi ruangan yang tidak memungkinkan untuk digunakannya metode poligon tertutup.

5. Pengumpulan Data TLS, di tahap ini dilakukan proses akuisisi data pada instrumen alat TLS. Pengukuran ini dilakukan pada titik kontrol yang telah disiapkan sebelumnya. TLS melakukan *scanning* pada kedua ruangan yang digunakan untuk obyek penelitian. Prinsip alat kerja alat ini hampir sama dengan ETS, alat ini terlebih dahulu dilakukan centering, kemudian melakukan *backsight* pada titik kontrol yang sebelumnya telah diberdirikan sebuah prisma. Kemudian baru proses *scanning* dimulai. Proses *scanning* itu dilakukan selama kurang lebih 15 menit.
6. Pengumpulan Data ETS, pada tahap ini dilakukan pengukuran detail situasi terhadap target yang sebelumnya telah tersebar pada kedua ruangan tersebut. pengukuran ini dilakukan pada titik kontrol yang sebelumnya telah disiapkan sebelumnya. Setiap titik kontrol dibidik bagian tengah dari semua titik target yang tersebar. Data hasil ukuran ETS yang digunakan adalah data sudut horizontal, sudut vertikal yang berupa sudut miring, dan jarak miring antara ETS dengan target yang tersebar. Selain itu ditambahkan pula bacaan biasa dan luar biasa di awal dan akhir pengukuran untuk mengetahui kesalahan indeks dan kesalahan kolimasi pada suatu pengukuran menggunakan alat ETS.
7. Pengolahan Data TLS, untuk pengolahan data TLS yang merupakan hasil *scanning* Ruang I dan Ruang II , harus melalui beberapa tahap. Pada penelitian ini hanya tahap Georeferencing, Filter dan registrasi karena pada penelitian ini hanya membutuhkan *point clouds* dari hasil scan. Berikut penjelasannya:
  - a. Tahap *Georeferencing* yaitu proses menambahkan sistem koordinat pada *point clouds* yang telah dihasilkan. Dengan cara menambahkan koordinat titik berdiri alat TLS pada saat proses *scanning*. Hal tersebut dilakukan agar hasil data dari TLS memiliki sistem koordinat yang seragam dengan hasil data dari ETS sehingga perbandingan hasil ukuran koordinat dapat dilakukan.

- b. Tahap *filtering*, yaitu tahap yang bertujuan untuk melakukan pengurangan titik-titik *point clouds* yang tidak digunakan atau bisa disebut dengan *noise*, noise ini dapat berpengaruh pada proses *Registrasi* karena semakin banyak noise yang ada dapat mempengaruhi hasil RMS error dari proses registrasi. Pada penelitian ini tidak banyak titik yang dihilangkan karena proses *scanning* dilakukan didalam ruangan.
  - c. Tahap *Registrasi*, yaitu proses menyatukan beberapa hasil *scanning* yang memiliki sistem koordinat yang berbeda agar menjadi satu sistem koordinat yang seragam. Proses *scanning* dilakukan lebih dari satu kali sehingga untuk menjadikan satu harus digabungkan dengan hasil *scanning* yang lainnya yang berbeda titik kontrolnya. Untuk menggabungkan hasil scan tersebut dibutuhkan dua sampai tiga titik yang sama untuk dijadikan titik referensi agar hasil beberapa scan tersebut dapat menyatu. Setelah itu menjadi *point clouds* yang menyatu yang terdiri dari beberapa scan. Kemudian dilakukan validasi apakah hasil registrasi yang telah dilakukan telah sesuai dengan akurasi registrasi yang telah ditentukan yaitu sebesar 3mm, jika masih belum memenuhi maka akan dilakukan proses registrasi ulang hingga memenuhi akurasi registrasi yang telah ditentukan. Setelah proses tersebut baru dapat diamati nilai koordinatnya pada bagian tengah target.
8. Pengolahan data ETS, Untuk pengolahan data ETS melalui beberapa tahap yaitu perhitungan kesalahan indeks alat dan kesalahan kolimasi, perhitungan sudut horizontal sebenarnya, perhitungan sudut vertikal sebenarnya, perhitungan azimuth, perhitungan jarak mendatar dan jarak vertikal, kemudian dilakukan perhitungan koordinat target. Setelah diketahui target koordinat di tiap titik kontrol, dilakukan validasi, dengan mengecek standar deviasi setiap titik yaitu sebesar 3mm, jika standar deviasi tidak terpenuhi

maka dilakukan pengukuran ulang pada target tersebut. Jika terpenuhi maka koordinat tersebut dapat digunakan.

7. Analisa Perbandingan Koordinat, di tahap ini didapatkan nilai koordinat dari TLS dan ETS. Setelah itu dihitung selisih nilai koordinat dari kedua alat tersebut, kemudian dihitung RMS error dan standar deviasi pengukuran di kedua ruangan. Dilakukan pula uji statistik terhadap nilai koordinat target yang dihasilkan oleh TLS, dengan menggunakan nilai koordinat yang didapat menggunakan ETS sebagai pembandingnya untuk mengetahui seperti apa kualitas pengukuran TLS yang dilakukan pada penelitian ini.

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*



## BAB IV HASIL DAN ANALISA

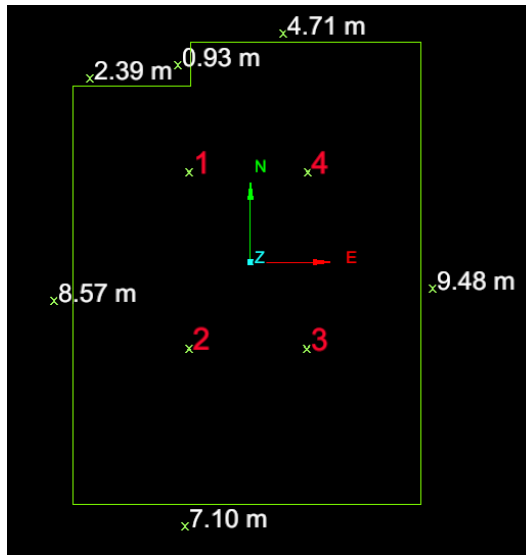
### 4.1 Hasil Pengukuran Titik Kontrol

Sebelum dilakukannya akuisisi data TLS dan ETS, terlebih dahulu dilakukan pengukuran titik kontrol yang nantinya titik ini digunakan untuk berdirinya alat TLS dan ETS. Pengukuran titik kontrol ini menggunakan polygon tertutup dengan sistem koordinat lokal karena pada penelitian ini lebih ditujukan pada analisa hasil titik koordinat yang dihasilkan oleh TLS dan ETS.

Untuk pengukuran titik kontrol pada ruang I memiliki toleransi kesalahan penutup sudut  $\sqrt{n}$  sebesar  $5''$  dengan titik kontrol menggunakan 4 titik. Sedangkan untuk toleransi kesalahan liniernya sebesar  $1/5000$ . Dan untuk toleransi penutup tinggi  $10\sqrt{D}$  sebesar 0.001 m. Sedangkan untuk ruang II tidak menggunakan koreksi pengukuran karena menggunakan poligon terbuka. Berikut ini merupakan hasil koordinat dari titik kontrol diruang I dan ruang II :

Tabel 4.1, Koordinat Titik Kontrol Ruang I

Titik	Koodinat Ruang I		
	X (m)	Y (m)	Z(m)
1	0	0	0
2	-0,013	-3,614	0,009
3	2,404	-3,624	0,007
4	2,415	0,000	-0,002
kesalahan penutup sudut			4"
kesalahan linier			1/29270,312
kesalahan penutup tinggi			0.005 m



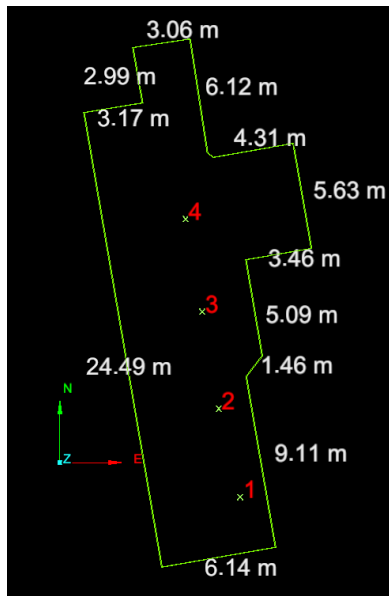
Gambar 4.1, Sketsa Titik Kontrol Ruang I

Dari hasil pengukuran titik kontrol pada ruang I memiliki kesalahan penutup sudut sebesar 4 detik dimana nilai ini lebih kecil dari pada nilai toleransi kesalahan yang diperbolehkan yaitu 5" sehingga dengan ini kesalahan penutup sudut memenuhi syarat toleransi. Untuk kesalahan linier pada ruang I sebesar  $1/29270.312$  dimana nilai ini lebih kecil dari pada nilai toleransi kesalahan yang diperbolehkan yaitu  $1/5000$  sehingga dengan ini kesalahan penutup sudut memenuhi syarat toleransi. Dengan begitu pada posisi planimetris pengukuran titik kontrol ini memenuhi syarat toleransi. Untuk kesalahan penutup tinggi sebesar 0.005 m dimana nilai ini lebih besar dari nilai yang diperbolehkan yaitu 0.001 m sehingga dengan ini kesalahan penutup tinggi yang dihasilkan tidak memenuhi toleransi. Hal tersebut terjadi karena pengukuran beda tinggi menggunakan alat ETS yang seharusnya menggunakan alat waterpass yang diperuntukkan mengukur beda tinggi.

Sehingga untuk penelitian selanjutnya sangat dianjurkan perlunya pengukuran menggunakan waterpass pada pengukuran beda tinggi agar didapatkan titik kontrol elevasi yang memenuhi toleransi kesalahan penutup tinggi.

Tabel 4.2, Koordinat Titik Kontrol Ruang II

Titik	Koordinat Ruang II		
	X (m)	Y(m)	Z(m)
1	1000	1000	100
2	998,849	1004,713	100,017
3	997,973	1009,884	100,018
4	997,104	1014,761	100,008



Gambar 4.2, Sketsa Titik Kontrol Ruang II

Untuk ruang dua tidak memiliki nilai kesalahan penutup sudut ataupun kesalahan penutup linier karena metode

pengukuran titik kontrolnya menggunakan poligon terbuka yang tidak memiliki nilai koreksi terhadap pengukurannya.

#### **4.2 Hasil Pengukuran Koordinat TLS**

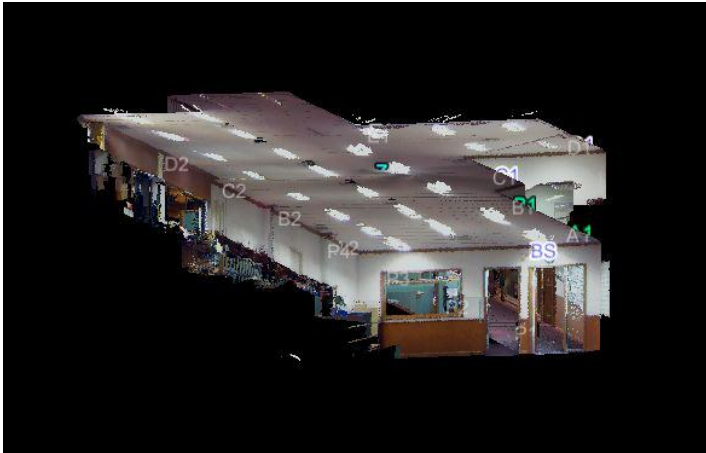
Data yang didapat dari alat TLS merupakan data dalam bentuk hasil scan yang berupa *point clouds*. Data ini harus melalui beberapa tahap untuk dapat digunakan nilai koordinatnya, yaitu Georeferencing, Filtering dan Registrasi. Berikut ini merupakan hasil olahan data *point clouds* di kedua ruangan setelah melalui beberapa tahap tersebut.



Gambar 4.3, Hasil Scan Ruang I (Tampak Luar)



Gambar 4.4, Hasil Scan Ruang I (Tampak Dalam)



Gambar 4.5, Hasil Scan Ruang II (Tampak Luar)





Gambar 4.6, Hasil Scan Ruang II (Tampak Dalam)

Hasil Scan ruang I dan ruang II menggunakan proses registrasi *target to target registration*. Hal ini dilakukan karena registrasi ini memiliki tingkat keakuratan dan ketelitian data yang lebih baik dibandingkan dengan metode





*cloud to cloud*, dan jika dilihat dari sisi kemudahan dalam proses akuisisi data metode *target to target* mudah dalam proses pengolahannya (Nandaru 2014). Ruang I memiliki nilai RMS pada proses registrasinya seperti yang ditunjukkan dalam hasil report registrasi menggunakan Maptex I-site Studio berikut ini :

Tabel 4.3, Nilai RMS Registrasi Ruang I

Data	Registered RMS separation
 Room002	0,001 m
 Room004	0,001 m

Dari Tabel 4.3 nilai RMS Error yang dihasilkan dalam proses registrasi bernilai lebih kecil dari 3 mm, di mana nilai tersebut merupakan nilai kerapatan titik dari terrestrial laser scanner yang dihasilkan oleh alat tersebut pada setiap 10 m. Sedangkan untuk ruang II memiliki hasil report registrasi seperti berikut ini :

Tabel 4.4, Nilai RMS Registrasi Ruang II

Data	Registered RMS separation
 STA0008_SCN0001	0,004 m
 STA0009_SCN0001	0,005 m
 STA0007_SCN0001	0,004 m
 STA0006_SCN0002	0,005 m

Dari Tabel 4.4 nilai RMS Error yang dihasilkan dalam proses registrasi bernilai lebih besar dari 3 mm. Karena dimensi ruang II yang 3x lebih besar dibandingkan dengan ruang I sehingga kerapatan yang dihasilkan sesuai spesifikasi alatnya menjadi lebih besar yaitu sebesar 9 mm untuk setiap jarak 30 m.

Nilai koordinat didapatkan dari pengamatan hasil scan tersebut. Nilainya diamati dari titik tengah target yang

terpindai pada hasil scan di kedua ruangan. Target yang diamati seperti berikut ini :



Gambar 4.7, Target yang terpindai

Berikut ini merupakan koordinat target yang dihasilkan oleh alat TLS :

Tabel 4.5, Koordinat Target TLS di Ruang I

Titik	x(m)	y(m)	z(m)
1	0,042	1,663	1,741
2	-2,172	1,658	3,786
3	0,033	1,684	3,307
4	4,729	-6,551	0,036
5	-2,329	-6,548	0,052
6	-2,101	-6,680	3,745
7	0,21	2,558	3,782
8	4,581	2,378	3,764
9	0,214	2,654	0,045
10	4,508	2,656	0,037
11	-2,344	1,647	0,034
12	0,025	1,693	0,030
13	1,989	-6,809	0,028

Lanjutan Tabel 4.5, Koordinat Target TLS di Ruang I

Titik	x(m)	y(m)	z(m)
14	4,497	-6,731	3,798
15	-2,321	1,69	1,744
16	-2,206	-2,265	3,782
17	-2,353	-2,184	0,049
18	4,546	-2,333	3,776
19	4,734	-2,368	0,031
20	-2,177	-6,773	1,74
21	4,714	-6,556	1,764
22	4,76	2,391	1,8
23	-2,131	-6,802	0,043
24	4,698	-2,2	1,684
25	0,241	-6,687	3,362
26	-2,321	-2,459	1,662
27	2,595	-6,686	3,323
28	4,506	-6,816	0,04
29	4,721	2,386	0,034
30	2,308	2,661	0,035

Tabel 4.6, Koordinat Target TLS di Ruang II

Titik	x(m)	y(m)	z(m)
A1	1001,333	1000,249	102,353
A2	995,538	999,293	102,269
B1	1000,519	1005,150	102,373
B2	994,689	1004,228	102,317
C1	1000,644	1010,450	102,355
C2	993,868	1009,113	102,331
D1	1003,076	1015,743	102,320



Lanjutan Tabel 4.6, Koordinat Target TLS di Ruang II

Titik	x(m)	y(m)	z(m)
D2	993,014	1014,065	102,318
E1	998,451	1018,199	102,348

#### **4.3 Hasil Pengukuran Koordinat ETS**

Target yang tersebar pada ruang I sebanyak 30 titik target sedangkan untuk ruang II sebanyak 9 titik target. Koordinat target ini dibidik melalui titik kontrol yang telah diukur sebelumnya dengan menggunakan metode pengukuran detail situasi. Untuk mengurangi kesalahan pengukuran, pada ruang I koreksi kesalahan indeks ditambahkan sebesar  $-6,5''$  pada data pengukuran sudut miring dan koreksi kolimasi sebesar  $-5,5''$  pada data pengukuran sudut horizontal. Sedangkan untuk ruang II koreksi kesalahan indeks ditambahkan sebesar  $-8,25''$  sudut miring dan koreksi kolimasi sebesar  $-2,25''$  pada data pengukuran sudut horizontal.

Agar data bisa dianggap mendekati nilai benar maka dilakukan uji *t student* dengan tingkat kepercayaan 80% dengan df sebesar 3 dan menghasilkan  $t = 1,250$ . Berikut ini merupakan hasil perhitungan koordinat target yang dihasilkan oleh alat ETS :

Tabel 4.7, Koordinat Target ETS di Ruang I

Titik	X(m)	Y(m)	Z(m)
1	0,041	1,665	1,744
2	-2,175	1,655	3,792
3	0,029	1,688	3,304
4	4,732	-6,556	0,045
5	-2,333	-6,557	0,060
6	-2,100	-6,685	3,756

Lanjutan Tabel 4.7, Koordinat Target ETS di Ruang I

Titik	X(m)	Y(m)	Z(m)
7	0,204	2,555	3,800
8	4,582	2,383	3,784
9	0,211	2,662	0,055
10	4,510	2,659	0,049
11	-2,353	1,652	0,045
12	0,028	1,690	0,032
13	1,991	-6,805	0,040
14	4,495	-6,735	3,803
15	-2,325	1,693	1,753
16	-2,208	-2,257	3,801
17	-2,361	-2,180	0,056
18	4,550	-2,331	3,774
19	4,735	-2,365	0,036
20	-2,175	-6,783	1,752
21	4,717	-6,552	1,782
22	4,764	2,395	1,812
23	-2,135	-6,807	0,051
24	4,702	-2,197	1,700
25	0,244	-6,685	3,367
26	-2,324	-2,458	1,681
27	2,601	-6,684	3,335
28	4,504	-6,813	0,050
29	4,724	2,392	0,033
30	2,304	2,665	0,033

Tabel 4.8, Koordinat Target ETS di Ruang II

Titik	X(m)	Y(m)	Z(m)
A1	1001,331	1000,252	102,351
A2	995,541	999,297	102,259
B1	1000,516	1005,154	102,368
B2	994,690	1004,231	102,310
C1	1000,642	1010,457	102,355
C2	993,865	1009,112	102,326
D1	1003,072	1015,749	102,321
D2	993,015	1014,061	102,315
E1	998,445	1018,200	102,345

#### **4.4 Hasil Perbandingan Koordinat**

Berdasarkan data koordinat target yang didapatkan dari dua alat yaitu TLS dan ETS memiliki nilai yang berbeda, berikut ini merupakan nilai perbedaannya :

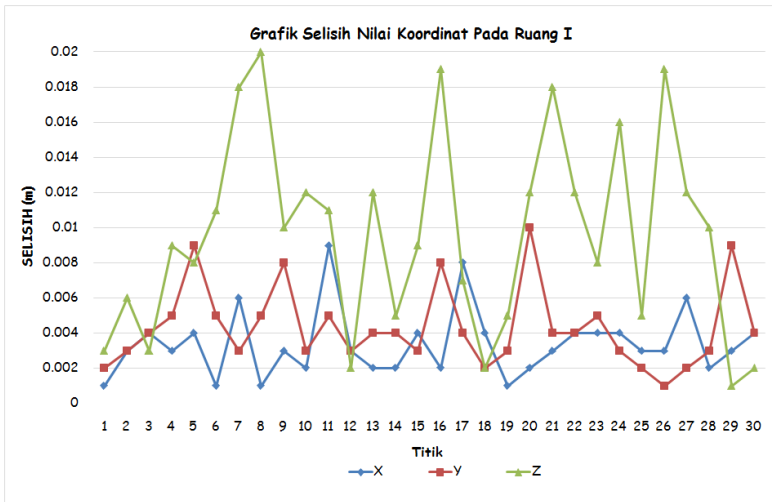
Tabel 4.9, Perbedaan Koordinat Target Ruang I

Titik	$\Delta x(m)$	$\Delta y(m)$	$\Delta Z(m)$
1	0,001	0,002	0,003
2	0,003	0,003	0,006
3	0,004	0,004	0,003
4	0,003	0,005	0,009
5	0,004	0,009	0,008
6	0,001	0,005	0,011
7	0,006	0,003	0,018
8	0,001	0,005	0,020
9	0,003	0,008	0,010
10	0,002	0,003	0,012
11	0,009	0,005	0,011

Lanjutan Tabel 4.9, Perbedaan Koordinat Target Ruang I

Titik	X(m)	Y(m)	Z(m)
12	0,003	0,003	0,002
13	0,002	0,004	0,012
14	0,002	0,004	0,005
15	0,004	0,003	0,009
16	0,002	0,008	0,019
17	0,008	0,004	0,007
18	0,004	0,002	0,002
19	0,001	0,003	0,005
20	0,002	0,010	0,012
21	0,003	0,004	0,018
22	0,004	0,004	0,012
23	0,004	0,005	0,008
24	0,004	0,003	0,016
25	0,003	0,002	0,005
26	0,003	0,001	0,019
27	0,006	0,002	0,012
28	0,002	0,003	0,010
29	0,003	0,006	0,001
30	0,004	0,004	0,002

Di ruang I selesih terbesar pada koordinat X terletak pada titik 11 yaitu sebesar 0,009 m, pada koordinat Y terletak pada titik 20 yaitu sebesar 0,010 m dan untuk koordinat Z pada titik 8 sebesar 0,020 m.

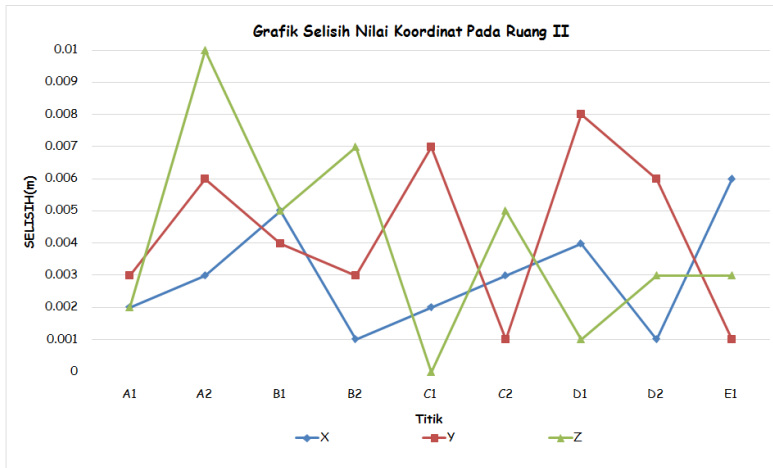


Gambar 4.8, Grafik Selisih Koordinat Ruang I

Tabel 4.10, Perbedaan Koordinat Target Ruang II

Titik	$\Delta x(m)$	$\Delta y(m)$	$\Delta z(m)$
A1	0,002	0,003	0,002
A2	0,003	0,004	0,010
B1	0,003	0,004	0,005
B2	0,001	0,003	0,007
C1	0,002	0,007	0,000
C2	0,003	0,001	0,005
D1	0,004	0,006	0,001
D2	0,001	0,004	0,003
E1	0,006	0,001	0,003

Di ruang II selisih terbesar pada koordinat X terletak pada titik E1 yaitu sebesar 0,006 m, pada koordinat Y terletak pada titik C1 yaitu sebesar 0,007 m dan untuk koordinat Z pada titik A2 sebesar 0,010 m.



Gambar 4.9. Grafik Selisih Koordinat Ruang II

Jika selisih tersebut digambarkan dalam bentuk vektor pergeseran koordinat TLS terhadap TLS bisa dilihat gambarnya pada Lampiran 3. Pada gambar vektor di ruang I dan ruang II pada gambar 2D tersebut dapat dilihat bahwa titik koordinat tersebut mengalami pergeseran secara acak hal ini menggambarkan bahwa tidak adanya kesalahan sistematis pada pengukuran yang dilakukan. Sedangkan jika dilihat pada gambar vektor 3D, di ruang I dan ruang II sebagian besar mengarah kebawah dan juga sebaliknya, hal ini menggambarkan jika pada pengukuran elevasi terdapat kesalahan sistematisnya, pada penelitian ini kesalahan sistematis tersebut disebabkan pengukuran tinggi alat yang kurang baik dan tidak terpenuhinya toleransi penutup tinggi.

#### **4.5 Analisa Statistik**

Analisa statistik dilakukan pada nilai koordinat (X,Y,Z) yang dihasilkan TLS yang tersebar pada kedua ruangan dengan menggunakan nilai koordinat yang didapat menggunakan ETS sebagai pembandingnya. Untuk

mengetahui kualitas hasil pengukurannya maka dilakukan uji statistik menggunakan uji *t student*. Berdasarkan tabel distribusi *t student* dengan tingkat kepercayaan 90% dan derajat kebebasan sebesar 1, didapatkan nilai  $t = 6,314$ . Berikut ini penjelasan lebih lengkap uji statistik tiap koordinat di kedua ruangan.

#### **4.5.1 Ruang I**

Pada koordinat X rata-rata kesalahan yang dihasilkan sebesar 0,003 m dengan nilai standar deviasai sebesar 0,002 m, dan memiliki RMSE sebesar 0,004 m.

Tabel 4.11, Tabel Uji *t Student* Koordinat X

Titik	Batas Atas	Batas Bawah	Pengukuran TLS	Keterangan
	X (m)	X (m)	X(m)	
1	0,050	0,032	0,042	diterima
2	-2,166	-2,184	-2,172	diterima
3	0,038	0,020	0,033	diterima
4	4,741	4,723	4,729	diterima
5	-2,324	-2,342	-2,329	diterima
6	-2,091	-2,109	-2,101	diterima
7	0,213	0,195	0,21	diterima
8	4,591	4,573	4,581	diterima
9	0,220	0,202	0,214	diterima
10	4,519	4,501	4,508	diterima
11	-2,344	-2,362	-2,344	diterima
12	0,037	0,019	0,025	diterima
13	2,000	1,982	1,989	diterima
14	4,504	4,486	4,497	diterima
15	-2,316	-2,334	-2,321	diterima
16	-2,199	-2,217	-2,206	diterima

Lanjutan tabel 4.11, Tabel Uji t *Student* Koordinat X

Titik	Batas Atas X (m)	Batas Bawah X (m)	X(m)/TLS	Keterangan
17	-2,352	-2,370	-2,353	diterima
18	4,559	4,541	4,546	diterima
19	4,744	4,726	4,734	diterima
20	-2,166	-2,184	-2,177	diterima
21	4,726	4,708	4,714	diterima
22	4,773	4,755	4,76	diterima
23	-2,126	-2,144	-2,131	diterima
24	4,711	4,693	4,698	diterima
25	0,253	0,235	0,241	diterima
26	-2,315	-2,333	-2,321	diterima
27	2,610	2,593	2,595	diterima
28	4,513	4,495	4,506	diterima
29	4,733	4,715	4,721	diterima
30	2,313	2,295	2,308	diterima

Dari tabel diatas, terdapat semua titik yang diterima dalam tingkat kepercayaan yang telah ditentukan. Sehingga terdapat 30 titik yang diterima atau 100% dari keseluruhan data koordiant X.

Pada koordinat Y rata-rata kesalahan sebesar 0,004 m dengan nilai standar deviasai sebesar 0,002 m, dan memiliki RMSE sebesar 0,005 m.

Tabel 4.12, Tabel Uji t *Student* Koordinat Y

Titik	Batas Atas	Batas Bawah	Pengukuran TLS	Keterangan
	Y (m)	Y (m)	Y(m)	
1	1,673	1,656	1,663	diterima



Lanjutan Tabel 4.12, Tabel Uji t *Student* Koordinat Y

Titik	Batas Atas Y (m)	Batas Bawah Y (m)	X(m)TLS	Keterangan
2	1,664	1,646	1,658	diterima
3	1,697	1,679	1,684	diterima
4	-6,547	-6,565	-6,551	diterima
5	-6,548	-6,566	-6,548	tidak diterima
6	-6,676	-6,694	-6,68	diterima
7	2,564	2,546	2,558	diterima
8	2,392	2,374	2,378	diterima
9	2,671	2,653	2,654	diterima
10	2,668	2,650	2,656	diterima
11	1,661	1,643	1,647	diterima
12	1,699	1,681	1,693	diterima
13	-6,796	-6,814	-6,809	diterima
14	-6,726	-6,744	-6,731	diterima
15	1,702	1,684	1,69	diterima
16	-2,248	-2,266	-2,265	diterima
17	-2,171	-2,189	-2,184	diterima
18	-2,322	-2,340	-2,333	diterima
19	-2,356	-2,374	-2,368	diterima
20	-6,774	-6,792	-6,773	tidak diterima
21	-6,543	-6,561	-6,556	diterima
22	2,404	2,386	2,391	diterima
23	-6,798	-6,816	-6,802	diterima
24	-2,188	-2,206	-2,2	diterima

Lanjutan Tabel 4.12, Tabel Uji t *Student* Koordinat Y

Titik	Batas Atas Y (m)	Batas Bawah Y (m)	X(m)TLS	Keterangan
25	-6,676	-6,694	-6,687	diterima
26	-2,449	-2,467	-2,459	diterima
27	-6,675	-6,693	-6,686	diterima
28	-6,804	-6,822	-6,816	diterima
29	2,401	2,383	2,386	diterima
30	2,674	2,656	2,661	diterima

Dari tabel diatas, terdapat dua titik yang tidak diterima dalam tingkat kepercayaan yang telah ditentukan. Sehingga terdapat 28 titik yang diterima atau 93,3% dari keseluruhan data koordiant Y.

Pada koordinat Z rata-rata kesalahan sebesar 0,010 m dengan nilai standar deviasai sebesar 0,006 m, dan memiliki RMSE sebesar 0,011 m.

Tabel 4.13, Tabel Uji t *Student* Koordinat Z

Titik	Batas Atas	Batas Bawah	Pengukuran TLS	Keterangan
	Z (m)	Z (m)	Z(m)	
1	1,753	1,735	1,741	diterima
2	3,801	3,783	3,786	diterima
3	3,313	3,295	3,307	diterima
4	0,054	0,036	0,036	diterima
5	0,069	0,051	0,052	diterima
6	3,765	3,747	3,745	tidak diterima
7	3,809	3,791	3,782	tidak diterima

Lanjutan Tabel 4.13, Tabel Uji t *Student* Koordinat Z

Titik	Batas Atas Y (m)	Batas Bawah Y (m)	X(m)TLS	Keterangan
8	3,793	3,775	3,764	tidak diterima
9	0,064	0,046	0,045	tidak diterima
10	0,058	0,040	0,037	tidak diterima
11	0,054	0,036	0,034	tidak diterima
12	0,041	0,023	0,03	diterima
13	0,049	0,031	0,028	tidak diterima
14	3,812	3,794	3,798	diterima
15	1,762	1,744	1,744	diterima
16	3,810	3,792	3,782	tidak diterima
17	0,065	0,047	0,049	diterima
18	3,783	3,765	3,776	diterima
19	0,045	0,027	0,031	diterima
20	1,761	1,743	1,74	tidak diterima
21	1,791	1,773	1,764	tidak diterima
22	1,821	1,803	1,8	tidak diterima
23	0,060	0,042	0,043	diterima

Lanjutan Tabel 4.13, Tabel Uji t *Student* Koordinat Z

Titik	Batas Atas Y (m)	Batas Bawah Y (m)	X(m)TLS	Keterangan
24	1,709	1,691	1,684	tidak diterima
25	3,376	3,358	3,362	diterima
26	1,690	1,672	1,662	tidak diterima
27	3,344	3,326	3,323	tidak diterima
28	0,059	0,041	0,04	tidak diterima
29	0,042	0,024	0,034	diterima
30	0,042	0,024	0,035	diterima

Dari tabel diatas, terdapat lima belas titik yang tidak diterima dalam tingkat kepercayaan yang telah ditentukan. Sehingga terdapat 15 titik yang diterima atau 50% dari keseluruhan data koordiant Z.

Secara keseluruhan untuk posisi planimetris pengukuran TLS pada ruang I memberikan hasil yang baik karena data yang diterima lebih dari 80%. Namun pada posisi elevasi menghasilkan pengukuran yang kurang baik karena data yang diterima sebesar 50%. Hal ini dikarenakan adanya perbedaan pengukuran tinggi alat ETS dengan pengukuran tinggi alat TLS sehingga hasil elevasi TLS kurang baik.

#### **4.5.2 Ruang II**

Pada koordinat X rata-rata kesalahan sebesar 0,003 m dengan nilai standar deviasai sebesar 0,002 m, dan memiliki RMSE sebesar 0,003 m..

Tabel 4.14, Tabel Uji t *Student* Koordinat X

Titik	Batas Atas	Batas Bawah	Pengukuran TLS	Keterangan
	X (m)	X (m)	X(m)	
A1	1001,340	1001,323	1001,333	diterima
A2	995,550	995,531	995,538	diterima
B1	1000,525	1000,509	1000,519	diterima
B2	994,699	994,681	994,689	diterima
C1	1000,651	1000,634	1000,644	diterima
C2	993,874	993,858	993,868	diterima
D1	1003,081	1003,065	1003,076	diterima
D2	993,024	993,006	993,014	diterima
E1	998,454	998,439	998,451	diterima

Dari tabel diatas, terdapat satu titik yang tidak diterima dalam tingkat kepercayaan yang telah ditentukan. Sehingga terdapat 9 titik yang diterima atau 100% dari keseluruhan data koordiant X.

Pada koordinat Y rata-rata kesalahan sebesar 0,004 m dengan nilai standar deviasai sebesar 0,002 m, dan memiliki RMSE sebesar 0,004 m.

Tabel 4.15, Tabel Uji t *Student* Koordinat Y

Titik	Batas Atas	Batas Bawah	Pengukuran TLS	Keterangan
	Z (m)	Z (m)	X(m)	
A1	1000,261	1000,243	1000,249	diterima
A2	999,306	999,288	999,293	diterima
B1	1005,163	1005,145	1005,150	diterima
B2	1004,240	1004,222	1004,228	diterima
C1	1010,466	1010,448	1010,450	diterima
C2	1009,121	1009,103	1009,113	diterima

Lanjutan Tabel 4.15, Tabel Uji t *Student* Koordinat Y

Titik	Batas Atas Y (m)	Batas Bawah Y (m)	X(m)TLS	Keterangan
D1	1015,758	1015,740	1015,743	diterima
D2	1014,070	1014,052	1014,065	diterima
E1	1018,209	1018,191	1018,199	diterima

Dari tabel diatas, terdapat satu titik yang tidak diterima dalam tingkat kepercayaan yang telah ditentukan. Sehingga terdapat 9 titik yang diterima atau 100% dari keseluruhan data koordiant Y.

Pada koordinat Z rata-rata kesalahan sebesar 0.004 m dengan nilai standar deviasai sebesar 0,003 m, dan memiliki RMSE sebesar 0,005 m. Dimana nilai diluar tingkat kepercayaan sebesar 0,000 m sampai 0,009 m.

Tabel 4.16, Tabel Uji t *Student* Koordinat Z

Titik	Batas Atas	Batas Bawah	Pengukuran TLS	Keterangan
	Z (m)	Z (m)	X(m)	
A1	102,360	102,342	102,353	diterima
A2	102,268	102,250	102,269	tidak diterima
B1	102,377	102,359	102,373	diterima
B2	102,319	102,301	102,317	diterima
C1	102,364	102,346	102,355	diterima
C2	102,335	102,317	102,331	diterima
D1	102,330	102,312	102,320	diterima
D2	102,324	102,306	102,318	diterima
E1	102,354	102,336	102,348	diterima

Dari tabel diatas, terdapat satu titik yang tidak diterima dalam tingkat kepercayaan yang telah ditentukan. Sehingga

terdapat 8 titik yang diterima atau 88.88% dari keseluruhan data koordiant Z.

Secara keseluruhan untuk posisi planimetris dan elevasi pengukuran TLS pada ruang II memberikan hasil yang baik, karena data yang diterima lebih dari 80%.

#### **4.6 Analisa Penyebab Perbedaan**

Nilai koordinat yang dihasilkan antara TLS dan ETS memiliki perbedaan. Alasan utama yang menyebabkan nilai koordinat yang berbeda adalah perbedaan jenis laser *rangefinder* pada alat TLS dengan ETS. Laser pada TLS memancarkan banyak gelombang untuk memindai suatu obyek sehingga menyebabkan antar gelombang memiliki jarak antar gelombang. Sedangkan laser pada ETS hanya memancarkan satu gelombang sesuai target yang ditentukan. Hal tersebut dapat membuat perbedaan antara koordinat yang dihasilkan ETS dengan ETS.

Penyebab selanjutnya adalah jumlah berdiri alat TLS pada proses pengukuran ruang I dan ruang II yang berbeda. Pada ruang I dilakukan sebanyak dua kali berdiri alat, ruang dua sebanyak empat kali berdiri alat. Hal ini menyebabkan titik referensinya referensi pada ruang I berbentuk garis yang dapat menghasilkan kemungkinan kesalahan pada data TLS. Sedangkan pada ruang dua titik referensi berbentuk bidang berupa empat titik sehingga menyebabkan nilai RMS error ruang II lebih kecil. Namun hal ini dibutuhkan penelitian lanjutan tentang seberapa pengaruhnya jumlah berdiri alat TLS terhadap kesalahan nilai koordinat yang dihasilkan.

Penyebab lainnya adalah jumlah target koordinat di kedua ruangan yang berbeda. Pada ruang II menggunakan target yang lebih sedikit dari pada ruang I. Hal ini menyebabkan perataan kesalahan pada ruang II kurang merata dan menghasilkan RMS error yang lebih kecil, walaupun ruang II memiliki ukuran dan dimensi yang lebih besar dari pada ruang I. Karena ruang I yang lebih kecil dan target yang

tersebar lebih banyak menghasilkan nilai RMS error yang lebih besar dari pada ruang I.

Kemudian perbedaan dalam pengamatan tinggi alat pada ETS dan TLS, pada alat TLS pengamatan dilakukan langsung oleh instrument, sedangkan pada ETS dilakukan secara manual (rol meter). Perbedaan cara pengamatan tinggi ini dapat mengakibatkan selisih yang cukup besar pada koordinat z antara TLS dengan ETS. Hal ini pula yang menyebabkan RMS error koordinat Z antara ruang I dan ruang II memiliki perbedaan yang cukup signifikan karena pada ruang I alat ETS diukur tinggi alatnya secara tegak sedangkan pada ruang II diukur tinggi alatnya secara miring. Selain itu penyebab lainnya adalah karena toleransi penutup tinggi pada ruang I yang tidak terpenuhi, sehingga posisi elevasinya menjadi kurang baik dan mengakibatkan perbedaan pada koordinat Z pada tiap target menjadi lebih besar.



## **BAB V**

### **KESIMPULAN**

#### **5.1 Kesimpulan**

Adapun kesimpulan yang didapatkan berdasarkan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Nilai rata-rata selisih koordinat antara TLS dan ETS pada Ruang I yaitu pada koordinat X sebesar 0,003 m, koordinat Y sebesar 0,004 m dan koordinat Z sebesar 0,010 m. Sedangkan untuk Ruang II yaitu pada koordinat X sebesar 0,003 m, koordinat Y sebesar 0,004 m dan koordinat Z sebesar 0,004 m .
2. RMS error yang dihasilkan data TLS terhadap data ETS di ruang I pada koordinat targetnya (X,Y,Z) sebesar (0,004; 0,005; 0,011) m dengan standar deviasi koordinat X sebesar 0,002 m, koordinat Y sebesar 0,002 m. Dan koordinat Z sebesar 0,006 m. Sedangkan pada ruang II, RMS error pada koordinat targetnya (X,YZ) sebesar (0,003; 0,004; 0,005) m dengan standar deviasi koordinat X sebesar 0,002 m, koordinat Y sebesar 0,002 m. Dan koordinat Z sebesar 0,003 m.
3. Perbedaan nilai koordinat ETS dan TLS disebabkan karena jenis *rangefinder* yang berbeda antara TLS dengan ETS, jumlah berdiri alat TLS yang berbeda, perbedaan jumlah target, perbedaan pengukuran tinggi alat. Selain itu juga tidak terpenuhinya toleransi pada pengukuran titik kontrol elevasi yang seharusnya sebesar 1 mm namun yang didapatkan sebesar 5 mm.

#### **5.2 Saran**

Adapun saran yang dapat diberikan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menggunakan target dari bahan stiker reflektor yang memiliki nilai reflektifitas yang lebih tinggi yang berbeda dari barang disekitarnya sehingga waktu

pengamatan target tersebut akan memudahkan saat mengidentifikasi target pada hasil *scanning* dari TLS.

2. Target yang digunakan minimal berukuran 15x15 cm yang terlihat cukup besar.
3. Melakukan pengukuran titik kontrol koordinat Z menggunakan waterpass agar menghasilkan elevasi yang lebih baik.
4. Perlu dilakukan penelitian lanjutan tentang seberapa besar nilai perbedaan data TLS terhadap jumlah pengukuran yang dilakukan. Dan tentang seberapa besar nilai perbedaan data TLS terhadap pengukuran luar ruangan.

## DAFTAR PUSTAKA

- Adhitiaputra, R. (2013). *Mekanisme Kalibrasi Terrestrial Laser Scanner*. Bandung: Institut Teknologi Bandung.
- Baltsavias, E. P. (1999). *Aiborne laser scanning: basic relations and formulas*. ISPRS J Photogramm and Remote Sens, 54: 199 – 214.
- Basuki, S. (2006). *Ilmu Ukur Tanah*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Boehler, W., & Marbs, A. (2003). *Investigating Laser Scanner Accuracy*. Germany: Univesity of Applied Sciences.
- Hiremagalur, J., Yen, K. S., Lasky, T. A., & Ravani, B., 2009, *Testing and Performance Evaluation of Fixed Terrestrial 3D Laser Scanning Sistems for Highway Applications*, Transportation Research Board 88th Annual Meeting 2009, Advanced Highway Maintenance and Construction Technology (AHMCT) Research Center Department of Mechanical & Aeronautical Engineering University of California – Davis, Paper no 09-1995.
- Ingensand, H., Ryf, A., Schulz, T., 2003. *Performances and Experiences in Terrestrial Laser Scanning, Optical 3D Measurement Techniques VI*, Gruen/Kahmen (Eds.), pp. 236-243.
- Liscio, E., Hayden, A.,& Moody, J. (2015). *A Comparison of the Terrestrial Laser Scanner & Total Station for Scane Documentation*. J Assoc Crime Scene Reconstr, 20:1-8.
- Maulidin, R. F. (2016). *Studi Penentuan Volume Dengan Total Station dan Terrestrial Laser Scanner*. Surabaya: Jurusan Teknik Geomatika ITS.

- Muzaka, R. N., Suprayogi, A., & Nugraha, A. L. (2015). *Aplikasi Terrestrial Laser Scanner Untuk Pemantauan Deformasi Bangunan*. Jurnal Geodesi Undip, 165-175.
- Nandaru, A., Sudarsono, B., & Yuwono, B. D. (2014). *Studi Registrasi Point Clouds Pada Pemrosesan Data Terrestrial Laser Scanner*. Jurnal Geodesi Undip, 201-211.
- Nurjati, C. (2004). *Modul Ajar: Ilmu Ukur Tanah 1*. Surabaya: Program Studi Teknik Geodesi ITS.
- Paramita, L. E., Hendriatiningsih, S., Gumilar, I., & Wisayantono, D. (2012). *Survei Pemetaan Model Bangunan Tiga Dimensi (3D) Metode Terrestrial Laser Scanning untuk Dokumentasi As-Built Drawing*. Jurnal Teknik Sipil, 163-170.
- Quintero, M. S. (2008). *Theory And Practice On Terrestrial Laser Scanning. The Learning Tools for Advanced Three-dimensional Surveying in Risk Awareness Project (3DRiskMapping)*.
- Rachmawan, F. E. (2016). *Visualisasi 3D Bangunan Cagar Budaya (Cultural Heritage) Menggunakan Terrestrial Laser Scanner*. Surabaya: Jurusan Geomatika ITS.
- Reshetyuk, Y. (2009). *Terrestrial Laser Scanning, Error Source, Self-Calibration, And Direct Georeferencing*. Saarbrücken, Germany: VDM Verlag Dr. Muller.
- Riawan, R. (2013). *Permodelan 3D Monumen Bandung Lautan Api Menggunakan Terrestrial Laser Scanner*. Bandung : Jurusan Teknik Geodesi ITB
- Schluz, T. (2007). *Calibration of a Terrestrial Laser Scanner for Engineering Geodesy*. Dissertation, Berlin: Dipl.-Ing, Technical University of Berlin.
- Vidyan, Y., Abidin, H. Z., Gumilar, I., & Haerani, N. (2013). *Pemanfaatan metode TLS (Terrestrial Laser Scanning)*

- untuk pemantauan deformasi gunung api. Jurnal Lingkungan dan Bencana Geologi*, 49-69.
- Walpole, R.E., Myers, R.H., Myers, S.L., Ye K. (2011) *Probability & Statistics for Engineers & Scientists Ninth Edition*. Pearson Prentice Hall, New Jersey, USA.
- Wolf, P.R., Ghilani, C.D. (2006) *Adjustment Computation Spasial Data Analysis*. Hoboken, New Jersey : John Wiley and Sons, Inc.

*"Halaman ini sengaja dikosongkan"*

## LAMPIRAN

### **Lampiran 1. Dokumentasi Pengukuran Titik Kontrol**



### **Pengukuran TLS dan ETS**

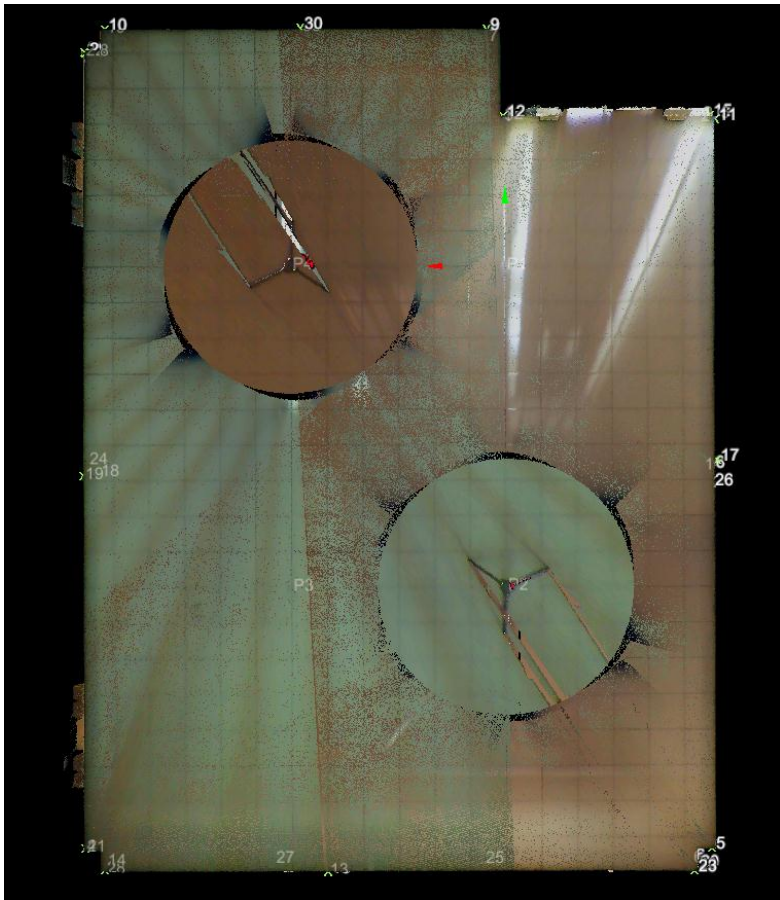


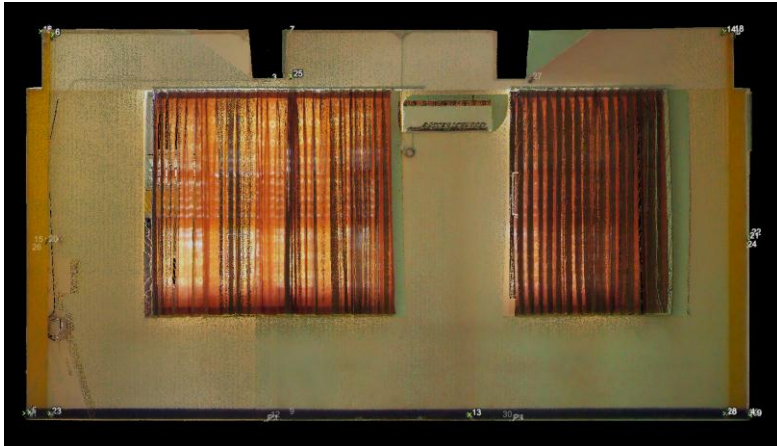
**Lampiran 2. Hasil *Scanning* Ruang I (Kelas 104)**  
**Tampak Atas**



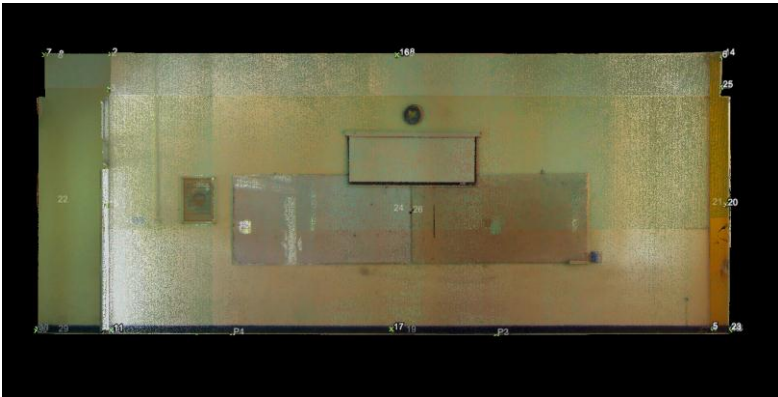


### Tampak Bawah

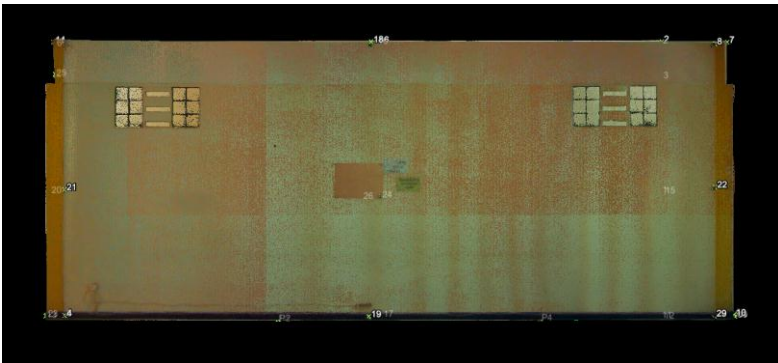




### Tampak Kiri

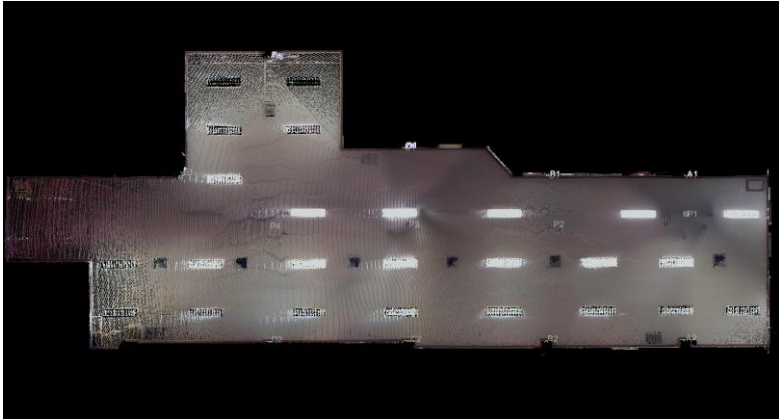


### Tampak Kanan



### Lampiran 3. Hasil *Scanning* Ruang II (Ruang Kantor ASABA)

#### Tampak Atas



#### Tampak Bawah



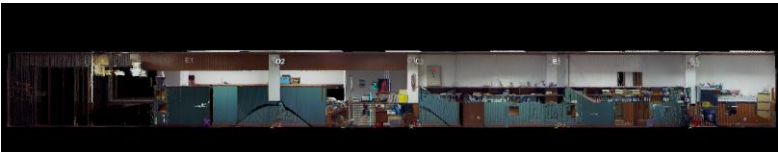
**Tampak Depan**



**Tampak Belakang**



**Tampak Kiri**

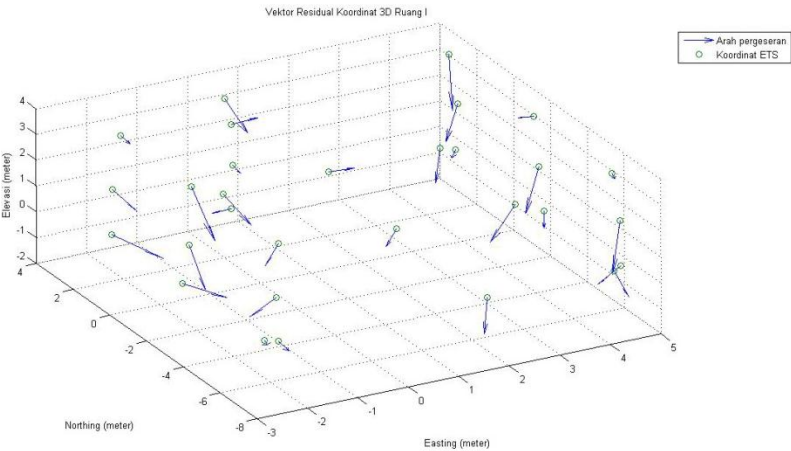
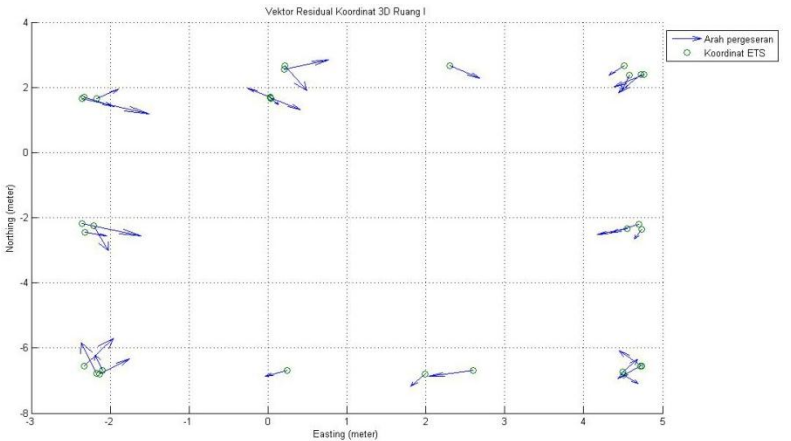


**Tampak Kanan**

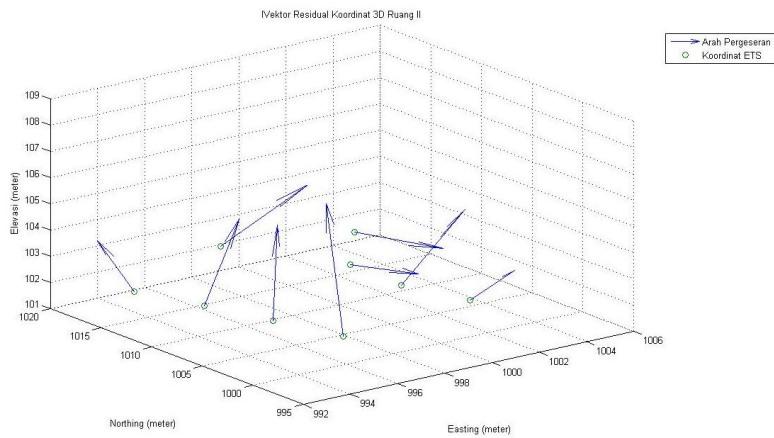
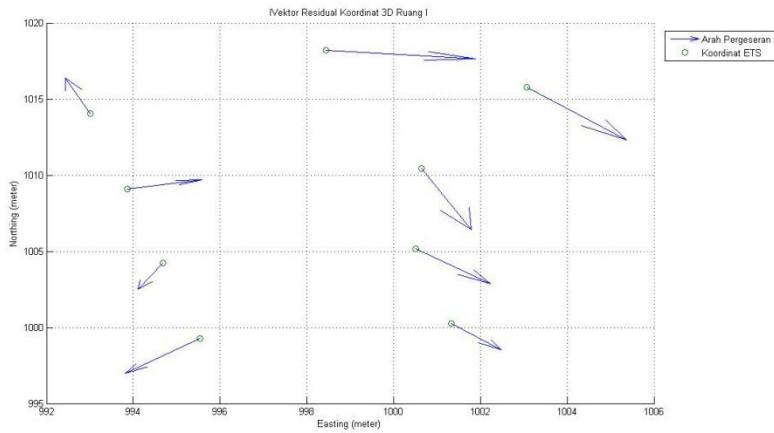


Lampiran 4. Vektor Residual Koordinat

Ruang I



## Ruang II



*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*



## **PROFIL PENULIS**



Penulis dilahirkan di Semarang, 11 Agustus 1995, merupakan anak pertama dari tiga bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal di TK RA Masitoh, SDN 01 Tugurejo, kemudian SMP Negeri 1 Semarang dan SMA Negeri 5 Semarang. Setelah lulus dari SMA memilih melanjutkan kuliah S-1 dengan mengikuti program undangan SNMPTN, awalnya diterima di Teknik Sistem Perkapalan Double Degree FTK, ITS. Namun karena adanya suatu permasalahan penulis di pindahkan di Teknik Geomatika FTSP, ITS pada tahun 2013 terdaftar dengan NRP 3513100098 yang sekarang berganti menjadi 03311340000098.

Di Teknik Geomatika penulis bergabung dengan keanggotaan organisasi di HIMAGE ITS. Di HIMAGE penulis mendapatkan berbagai macam ilmu tentang keorganisasian dan juga bergabung pada Departemen Sosial Masyarakat pada tahun kedua dan ditahun ketiga bergabung dengan Divisi Kewirausahaan. Penulis juga beberapa kali menjadi panitia pada kegiatan YES-SUMMIT ITS yang di adakan oleh pihak institut, pada acara ini penulis sebagai staff logistic pada tahun pertama dan staff ahli logistic pada tahun kedua. Sedangkan dalam berbagai seminar yang diselenggarakan oleh Program Studi beberapa kali ditunjuk sebagai panitia. Penulis juga beberapa kali mengerjakan proyek bidang terestris milik dosen. Penulis memilih bidang Terestris dalam penulisan tugas akhir yang berjudul “Analisa Hasil Pengukuran Koordinat Terrestrial Laser Scanner GLS 2000”.

